

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“EFICIENCIA TÉCNICA DEL PROCESO DE
FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA PARA LA
REMOCIÓN DE FÁRMACOS EN EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Rodrigo Jose Aguirre Olazo
Alvin Adams Mendocilla Cárdenas

Asesor:

Mg. Ing. Carlos Alberto Alva Huapaya
<https://orcid.org/0000-0002-0983-3151>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Iselli Josylin Nohely Murga Gonzalez	44362724
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Kelly Milena Polo Herrera	41297911
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Juan Carlos Flores Cerna	18898536
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis Alvin y Rodrigo Final Corregido

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
2	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
3	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
4	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
5	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
6	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
7	pesquisa.bvsalud.org Fuente de Internet	<1 %
8	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1 %

DEDICATORIA

A mis padres y a mi abuelita quienes creyeron en mí
cuando yo mismo no lo hacía.

Rodrigo Aguirre

A mis padres, quienes han creído en mí.
Muy agradecido por su amor, sacrificio y enseñarme a
jamás rendirme en las dificultades de la vida.

Este triunfo también es suyo.

Alvin Mendocilla

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis papás, por todo su apoyo incondicional durante mi educación universitaria y en la vida. Han sido mi roca en los momentos más difíciles y me han animado en cada paso del camino. Gracias por creer en mí y por hacer sacrificios para que pudiera lograr mis objetivos. Gracias por ser mi fuente de inspiración y motivación constante. Sé que a veces he sido difícil, pero siempre me han brindado su apoyo y aliento. No puedo expresar cuánto significan para mí.

Rodrigo Aguirre

Agradezco a mis padres por ser los principales impulsores de mis sueños, gracias por todos los días creer en mí y en mis expectativas, agradecido con mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada amplia y agotadora noche de estudio, que con un café aliviaba mi cansancio; gracias a mi padre por siempre querer y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada lección y por todas sus sabidurías que me guiaron a lo largo de mi vida.

Alvin Mendocilla

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1 Realidad problemática	11
1.2 Antecedentes	14
1.3 Justificación	28
1.4 Objetivos	29
1.5 Hipótesis	29
2 CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	30
2.1 Tipo de Investigación	30
2.2 Población y muestra	30
2.3 Técnica e Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos	31
2.4 Procedimiento y recolección de datos	34
2.5 Análisis de datos / Análisis estadístico	34
2.6 Aspectos éticos	35

3	CAPÍTULO III: RESULTADOS	36
3.1	Eficiencias de las concentraciones de los fármacos en el agua residual hospitalaria	36
3.2	Eficiencias de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en el agua residual hospitalaria	58
3.2.1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	58
3.2.2	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	69
3.3	Eficiencia técnica del proceso de fotocátalisis heterogénea para la remoción de fármacos en aguas residuales hospitalarias	81
4	CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	86
4.1	Discusión	86
4.2	Conclusiones	90
	REFERENCIAS	92
	ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DATOS DE LOS CONTAMINANTES EMERGENTES A TRATAR	27
TABLA 2. MATERIALES EMPLEADOS POR FASE.....	33
TABLA 3. VALORES INICIALES DE IBUPROFENO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS	37
TABLA 4. VALORES FINALES DE IBUPROFENO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS.....	38
TABLA 5. VALORES DE REMOCIÓN DE IBUPROFENO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS	39
TABLA 6. DATA DE PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE IBUPROFENO EN MUESTRAS DE AGUA	40
TABLA 7. VALORES INICIALES DE DICLOFENACO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS.....	49
TABLA 8. VALORES FINALES DE DICLOFENACO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS.....	50
TABLA 9. VALORES DE REMOCIÓN DE DICLOFENACO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS	51
TABLA 10. DATA DE PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE DICLOFENACO EN MUESTRAS DE AGUA.....	51
TABLA 11. VALORES INICIALES DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS	59
TABLA 12. VALORES FINALES DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS	60
TABLA 13. VALORES DE REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS	60
TABLA 14. DATA DE PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE DBO EN MUESTRAS DE AGUA.....	61
TABLA 15. VALORES DE INICIALES DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS	70
TABLA 16. VALORES FINALES DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS	71
TABLA 17. VALORES DE REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS	72
TABLA 18. DATA DE PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE DQO EN MUESTRAS DE AGUA	74
TABLA 19. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES INICIALES Y FINALES DE IBUPROFENO	82
TABLA 20. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES INICIALES Y FINALES DE DICLOFENACO	83
TABLA 21. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES INICIALES Y FINALES DE DBO	84
TABLA 22. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES INICIALES Y FINALES DE DQO.....	85
TABLA 23. MATRIZ OPERACIONAL DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.....	100
TABLA 24. MATRIZ OPERACIONAL DE LA VARIABLE DEPENDIENTE	101
TABLA 25. REVISIÓN SISTEMÁTICA.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	<i>ECUACIONES DE ÓXIDO – REDUCCIÓN</i>	24
FIGURA 2	<i>PRINCIPIO DE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA</i>	24
FIGURA 3	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON – DARLING</i>	41
FIGURA 4	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ATIPICIDAD - GRUBBS</i>	43
FIGURA 5	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS</i>	45
FIGURA 6	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE T DE UNA MUESTRA</i>	47
FIGURA 7	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON – DARLING</i>	53
FIGURA 8	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ATIPICIDAD - DIXON</i>	54
FIGURA 9	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS</i>	56
FIGURA 10	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNOS PARA UNA MUESTRA</i>	58
FIGURA 11	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD – ANDERSON – DARLING</i>	62
FIGURA 12	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ATIPICIDAD - GRUBBS</i>	64
FIGURA 13	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS</i>	66
FIGURA 14	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE T DE UNA MUESTRA</i>	68
FIGURA 15	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD – ANDERSON – DARLING</i>	75
FIGURA 16	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE VALORES ATÍPICOS – DIXON</i>	77
FIGURA 17	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS</i>	79
FIGURA 18	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNOS PARA MEDIANA</i>	81

RESUMEN

La contaminación de las aguas por fármacos es un problema creciente en todo el mundo, aunque los tratamientos comunes de aguas residuales pueden eliminar algunos de estos compuestos, otros pueden persistir en el medio ambiente y ser potencialmente peligrosos para los ecosistemas acuáticos y para la salud pública. El proceso de fotocátalisis heterogénea es una técnica altamente eficiente en la remoción de fármacos y otros contaminantes. El objetivo de la presente investigación es determinar la eficiencia técnica del proceso de fotocátalisis heterogénea para la remoción de fármacos en el tratamiento de aguas residuales hospitalarias. Se realizó una búsqueda exhaustiva en 10 bases de datos y o plataformas como: Redalyc, SciELO, Google Scholar, revistas de índole científico y repositorios institucionales de diferentes universidades y organizaciones, contando con la revisión completa, tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, de 24 publicaciones, en la presente investigación. Se concluyó que la aplicación de la fotocátalisis heterogénea en aguas residuales hospitalarias es altamente efectiva para la remoción de ibuprofeno y diclofenaco, y optimiza los parámetros fisicoquímicos Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.

PALABRAS CLAVES: Fotocátalisis, aguas residuales hospitalarias, catálisis, tratamiento de aguas, fotocátalisis heterogénea

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Actualmente, a nivel global, las aguas residuales hospitalarias representan una fuente polutiva emergente, ya que se caracterizan por contener una gama variable de microorganismos patógenos y sustancias químicas contaminantes, compuestas en su mayoría por solventes, sustancias desinfectantes y compuestos de índole farmacéutico. Estas aguas residuales hospitalarias exhiben fluctuaciones en la etapa de descarga en la red de saneamiento, producto de la mixtura de sustancias químicas y biológicas presentes en las mismas.

Genesis Water Technologies (2019), afirma que toda persona al padecer una enfermedad o lesión, comúnmente acude a un hospital para ver su molestia, sometiéndose a un tratamiento de recuperación, donde se emplean infinidad de fármacos (compuestos emergentes), que posteriormente son expulsados hacia el alcantarillado, mediante las excretas u orina, llegando de esta manera, a plantas de tratamiento de aguas residuales, y provocando la contaminación a largo plazo de la salud humana y vida marina.

Generalmente en Latinoamérica, estas aguas si bien logran llegar a los sistemas recolectores de aguas negras no cuentan con un tratamiento previo, además de ello los procesos habituales utilizados en plantas de tratamiento de aguas residuales no son eficientes al momento de la eliminación del material orgánico, es por ello que surge de manera alternativa la combinación de los tratamientos biológicos con los procesos de oxidación avanzada, para de esta manera, menguar el impacto negativo en el ecosistema.

Beltrán et al. (2019). realizaron un estudio en la Unidad Hospitalaria General Puyo en Ecuador, cuyos resultados fueron que “Las condiciones actuales de la planta de

tratamiento de aguas residuales del Hospital Puyo presentan una contaminación excesiva de patógenos en aguas, determinando que el tratamiento brindando a estos efluentes no es adecuado pues prevalece la presencia del patógeno *Escherichia coli* (...)” (p.350)

En el Perú, tal como lo refiere la SUNASS (2022), una de las dificultades con respecto al servicio de saneamiento, viene siendo los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que representa un reto por la inversión necesaria para su construcción, mantenimiento y operación, aparte de ello Garay y Quiliche (2021), afirman que el 70% de las aguas residuales no pasan por un tratamiento adecuado, afectando de esta manera el ciclo natural del agua.

Actualmente, a nivel nacional existen solo algunas empresas que realizan tratamiento en efluentes hospitalarios desconociendo que representan un problema particular, al abarcar una mezcla de medicamentos, detergentes, antisépticos, solventes y materia orgánica, a los que se adicionan excretas y secreciones de pacientes contaminados por diferentes patógenos.

Son pocos los estudios actuales en el tema de aguas residuales hospitalarias en el Perú, sin embargo, Pariona y Pineda (2019) evaluó la eficiencia del proceso de oxidación foto catalítica empleando nano partículas del dióxido de titanio (TiO₂) para el tratamiento de aguas residuales de un servicio de alimentación hospitalaria que excedían los parámetros fisicoquímicos: DBO 980 mg/L, DQO 1697 mg/L, SST 864 mg/L, A y G 954 mg/L de los Valores Máximos Admisibles, pudiendo observar que eran altamente contaminantes.

Existen diferentes procesos para la eliminación de las grandes moléculas de productos farmacéuticos, El Ministerio de Economía y Finanzas (2020) indicó que la cloración "Es una de las formas de desinfección del agua para consumo humano utilizando como agente químico el cloro para eliminar microorganismos (bacterias y virus) causante de

enfermedades diarreicas" (p.24), mientras que los procesos de oxidación avanzada, como lo indica, Rodríguez y Barrera (2020) "reaccionan con toda la materia orgánica presente en el agua contaminada o efluente a tratar, logrando una degradación parcial o mineralización completa" (p.68).

Meléndez et al. (2020) afirma que si bien los fármacos son empleados para tratar enfermedades bacterianas, son considerados en el grupo de contaminantes emergentes, ya que al no ser degradados completamente, se combinan con las aguas residuales, a través de las deposiciones y orina, llegando de esta manera a las plantas de tratamiento de aguas residuales, en las cuales no se les trata de forma adecuada, debido a la falta de normativa y/o monitoreo, es por ello que la presente investigación plantea visibilizar la problemática ambiental centrándose en la degradación de 2 fármacos: ibuprofeno y diclofenaco.

Por otro lado, el empleo de energías renovables, específicamente de la energía de origen solar, como tratamiento de aguas residuales, se considera una tecnología verde. En el caso de la fotocátalisis heterogénea, es considerada, debido a sus particularidades, como un proceso de oxidación avanzada, esta técnica utiliza la energía solar para la degradación de contaminantes recalcitrantes y de diferentes orígenes, dependientemente del uso de un adecuado fotocatalizador, al respecto Carranza (2022), afirma que, entre los fotocatalizadores empleados, el TiO_2 es el más sostenible, ya que se encuentra en abundancia y no causa impactos ambientales significativos.

La incidencia de la energía solar en la Tierra produce reacciones REDOX, que permiten la degradación de las sustancias orgánicas encontradas en efluentes domésticos, agrícolas, hospitalarios, entre otros; aparte de ello, producen una modificación en el número de oxidación de metales pesados, de manera que se alteran hacia una forma insoluble.

Terreros (2022) indica que usando dicha energía se puede activar el dióxido de titanio TiO_2 , debido a su alto potencial foto catalítico, generando así radicales hidroxilos a partir de reacciones oxido- reducción.

El resultado obtenido en la investigación permitirá la valoración del porcentaje de degradación obtenido por la fotocátalisis heterogénea en el tratamiento de aguas residuales hospitalarias respecto a los 2 fármacos mencionados y la optimización de los parámetros fisicoquímicos de la caracterización del agua inicial luego de aplicada la técnica.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes Internacionales

Pino (2018), realizó una investigación titulada *Determinación de fármacos en agua residual hospitalaria y aplicación del proceso de fotocátalisis heterogénea solar para su degradación*, tesis para optar el grado de Maestría en Ciencias con Orientación en Química Analítica Ambiental, por la Universidad Autónoma de Nuevo León, Esta investigación fue de enfoque experimental y la técnica de recolección de datos fue por experimentación, cuyo objetivo fue identificar los fármacos presentes en las aguas residuales de un Hospital ubicado en la ciudad de Monterrey, y mediante la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea, utilizando el catalizador dióxido de Titanio (TiO_2), lograr mineralizarlos, bajo la radiación solar y con distintas concentraciones del catalizador mencionado. El estudio logró porcentajes de mineralización de los contaminantes emergentes (fármacos), mayores al 90%, empleando 1g/L del catalizador Dióxido de Titanio (TiO_2).

Chamorro (2018), realizó una investigación titulada *Tratamiento de aguas residuales hospitalarias, con fotocátalisis heterogénea con TiO_2 en un colector cilíndrico parabólico en los Hospitales Municipales, Docente Regional Ambato, Regional del IESS, ubicados en*

la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Civil, por la Universidad de las Fuerzas Armadas. Esta investigación fue de enfoque experimental y la técnica de recolección de datos fue por experimentación, cuyo objeto fue analizar el comportamiento de los fármacos encontrados en las aguas residuales hospitalarias, luego de aplicar el proceso de fotocátalisis heterogénea, empleando dióxido de Titanio (TiO_2) como catalizador, para ello se da a conocer que el agua consumido en los hospitales es descomunal, con el fin de analizar y controlar la carga contaminante, de esta manera se realizaron 4 ensayos experimentales, logrando un 50% de degradación del fármaco en materia.

Cortez (2018), en su investigación *Eliminación de contaminantes emergentes de aguas residuales hospitalarias mediante procesos de oxidación avanzada*, para optar por el título de Ingeniero Ambiental, por la Universidad Estatal Amazónica departamento de ciencias de la vida, Esta investigación fue de enfoque experimental y la técnica de recolección de datos fue por experimentación, donde se emplea varios métodos cuantitativos, en relación a la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea, con el uso del catalizador dióxido de Titanio (TiO_2), para mineralizar los fármacos diclofenaco e ibuprofeno, presentes en el agua residual hospitalaria, se logró un porcentaje de mineralización mayor a 95% y 50% respectivamente. Mejorando significativamente el % de remoción del ibuprofeno, y en el caso de diclofenaco, de manera discreta.

Hernando (2017), en su investigación titulada *Estudio de la eliminación de Diclofenaco en aguas residuales mediante fotocátalisis heterogénea con TiO_2* , tesis para obtener el grado de Ingeniería Química, por la Universidad de Valladolid, Esta investigación fue de enfoque experimental y la técnica de recolección de datos fue por experimentación,

teniendo como objetivo realizar el proceso de fotocátalisis heterogénea, empleando dióxido de Titanio (TiO₂), centrándose en la eliminación del Diclofenaco, se ejecutaron 3 ensayos experimentales, logrando porcentajes de degradación superiores al 97%.

Cruz (2019), realizó una investigación titulada *Evaluación y Tratamiento de Contaminantes Emergentes (Fármacos Ácidos) en aguas residuales mediante un Reactor SBRLF acoplado a Fotocátalisis*, tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería y Ciencias Aplicadas en Tecnología de Materiales, por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, centro de investigación de ingeniería y ciencias aplicadas. Esta investigación fue de enfoque experimental y la técnica de recolección de datos fue por experimentación, donde se centró en la degradación de Diclofenaco e ibuprofeno, realizando 2 estudios prácticos aplicando la técnica de fotocátalisis heterogénea.

1.2.2 Antecedentes Nacionales

Pariona y Pineda (2019) realizaron una investigación titulada *Eficiencia de oxidación fotocatalítica heterogénea mediante nanopartículas de Dióxido de Titanio Y Peróxido de hidrogeno en aguas residuales de un servicio de alimentación hospitalaria*, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Peruana Unión, con el objetivo de realizar una evaluación de la eficiencia del proceso de fotocátalisis mediante el empleo de partículas de dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno, para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias. La investigación es con enfoque mixto, con técnicas de recolección de datos de observación (identificar turbidez) y contó con la utilización de un quipo parámetro multifuncional, para la medición del pH inicial y final de las concentraciones; además de ello se emplearon fichas de registro para obtener información teórica importante. Se concluyó que a través de la técnica de fotocátalisis heterogénea y empleando el dióxido

de Titanio (TiO₂), se logra disminuir las concentraciones de los contaminantes emergentes, viéndose reflejado en el contraste de los parámetros fisicoquímicos DQO, DBO y SST, del agua residual analizada, obteniéndose porcentajes de 60%, 90% y 80% respectivamente.

Terreros (2022), realizó una investigación titulada *Análisis de la influencia de la fotocátalisis heterogénea en la concentración de coliformes totales en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Jauja* para optar el grado profesional de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Continental, con el objetivo de determinar la influencia de la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea en la concentración de coliformes totales de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Jauja. La investigación tiene un enfoque cuantitativo, con técnicas de recolección de datos observacionales (fichas, guías de observación de campo) y cámara fotográfica), así como equipos, reactivos y materiales de laboratorio. Se concluyó que la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea, favorece la disminución de la carga bacteriana hasta en un 98%, siendo esta mucho más eficiente que los métodos convencionales de desinfección de agua.

Huanca (2019), realizó una investigación titulada *Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú por fotocátalisis heterogénea*, para optar el grado de maestra en Ingeniería Ambiental, en la Universidad Nacional del Centro del Perú, con el objetivo de determinar si la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea, optimiza al parámetro DQO en aguas residuales. El enfoque de la investigación es aplicado y con la técnica de recolección de datos denominada test instrumental (metrología). Se concluyó que posterior a la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea, el porcentaje de degradación de DQO fue mayor al 62%, determinando de esta manera, la viabilidad de la técnica.

Nieto (2020), realizó una investigación titulada *Degradación del ibuprofeno presente en aguas residuales por fotocátalisis heterogénea*, para optar el grado académico de Maestro en Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional del Centro del Perú, teniendo como objetivo determinar la viabilidad de la aplicación de fotocátalisis heterogénea con respecto al porcentaje de mineralización del ibuprofeno. El enfoque de la investigación es cuantitativo, y las técnicas empleadas para la recopilación de datos fueron la gravimetría, el análisis por combustión y detección por infrarrojo no dispersivo y la potenciometría. Se concluyó que la aplicación de fotocátalisis heterogénea en las aguas residuales para degradar las concentraciones de ibuprofeno presente, fue positiva ya que tuvo un porcentaje de degradación mayor a 89% con respecto al fármaco mencionado, tomando en cuenta los niveles de radiación solar y pH.

Inga y Lino (2019), realizaron una investigación titulada *Influencia de la concentración de H₂O₂ y el tiempo de tratamiento en la reducción de DQO de las aguas servidas por Fotocátalisis Heterogénea*, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico e Ingeniero Químico Ambiental, en la Universidad Nacional del Centro del Perú, la cual tuvo como objetivo determinar la influencia del tiempo de tratamiento y la concentración de dióxido de titanio, en la reducción del DQO en las aguas residuales, aplicando la técnica de fotocátalisis heterogénea. El enfoque de la investigación es cualitativo, realizando diseños experimentales. Se concluyó, que el tiempo óptimo de tratamiento por fotocátalisis heterogénea es de 5 horas, y la concentración óptima de Dióxido de Titanio es de 1,7043 ml/L.

1.3 Bases teóricas

1.3.1 Aguas residuales

Según OEFA (2014): “Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.” (p. 2)

1.3.1.1 Características de las aguas residuales

Estas aguas presentan 3 tipos de características que a continuación se mencionan:

Características físicas:

- Turbidez: Indica el nivel de transmisión de luz en el agua, que es proporcional a la cantidad de materia suspendida.
- Color: Generalmente el agua residual reciente es color gris, esto depende de las bacterias que descomponen la materia orgánica, pudiéndose tornar hasta color negro, esto produce que el oxígeno disuelto disminuya.
- Olor: Al descomponerse el material orgánico se generan gases como el ácido sulfhídrico u otras sustancias volátiles, las cuales generan olores desagradables.
- Sólidos totales: Según su tamaño pueden ser suspendidos (partículas flotantes) y filtrables (partículas coloidales y disueltas).
- Temperatura: Al existir reacciones exotérmicas, producto de la degradación del material orgánico, la temperatura en las aguas residuales es mayor al de aguas no contaminadas.

Características químicas:

- Materia orgánica e inorgánica: En el caso de la materia orgánica, son contaminantes biodegradables, compuestos generalmente por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites originados por las excretas y orina humana, detergentes y residuos alimenticios. Por otro lado, la materia inorgánica considera a sólidos minerales, como lodos, minerales, o gravas no degradables.
- Gases: Dependen de la fuente de los que son generados, entre ellos tenemos:
 - Oxígeno disuelto: Mide la calidad del agua, ya que se consume por la actividad bioquímica de la degradación de materia orgánica.
 - Ácido sulfhídrico: Indica el estado de un agua residual, ya que es producto de la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre.
 - Metano: Se origina por la reducción bacteriana del CO₂ durante la descomposición sin presencia de oxígeno de la materia orgánica.

Características biológicas

- Bacterias: Son fundamentales en la estabilización y descomposición del material orgánico.

1.3.2 Aguas residuales hospitalarias

Según Quesada et al. (2009): “No todos los productos farmacéuticos son removidos lo suficiente con los sistemas actuales de tratamiento por lo que pueden estar presentes en los efluentes de las plantas de tratamiento” (p. 2), generalmente este tipo de aguas trae consigo una mixtura de microorganismos y sustancia patógenas contaminantes.

1.3.3 Tratamiento de aguas residuales

Existen 3 tipos de tratamiento para las aguas residuales los cuales, Belzona (2010) son:

- Tratamiento primario: Se emplean procesos para separar medios físicos de partículas en suspensión en el agua a tratar, mediante las etapas de: decantación, homogenización, filtrado, coagulación, floculación, precipitación y neutralización.
- Tratamiento secundario: Procesos biológicos y anaerobios, se utiliza un tanque de aireación, se pretende eliminar el 90% de los contaminantes.
- Tratamiento terciario: Se utilizan procesos fisicoquímicos con los cuales se logran eliminar contaminantes en particular.

1.3.4 Procesos de oxidación avanzada

Pelayo (2018), describe que toman como base a los procesos fisicoquímicos, e implican la utilización y generación de radicales hidroxilos u otras especies oxidantes, a una determinada temperatura, presión y cantidad. Estos procesos tienen como objetivo, la purificación del agua, ya que, en la mayor parte de los casos, consigue la mineralización de contaminantes y por ende la eliminación de efectos nocivos. Según Terán (2016), los procesos de oxidación avanzada se clasifican en 2 grupos:

A) Métodos no fotoquímicos: Se genera radicales hidroxilos, sin la utilización de energía solar o lumínica. En este apartado se encuentran las técnicas de: ozonización, procesos Fenton, oxidación electroquímica, radiólisis, entre otras.

B) Métodos fotoquímicos: En 2016, Terán describe las principales ventajas de la utilización de procesos de oxidación avanzada fotoquímicos, las cuales son:

- Consigue mineralizar completamente al contaminante, incluso al encontrarse este, en baja concentración.
- No crea subproductos luego del proceso.
- Útiles para contaminantes resistentes.
- La luz permite acelerar la reacción.
- Optimizan las cualidades físicas del agua.
- A comparación de otros métodos, usan menos energía.

Dentro de este apartado se encuentran técnicas como: fotólisis UVV, Foto-Fenton, UV/O₃, y en la que está avocada la presente investigación, la fotocatalisis.

1.3.5 Radiación solar

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (s/f), postula que se origina en el sol, el cual irradia toda esta energía de manera uniforme en forma de ondas electromagnéticas. Lo que la diferencia de otras energías son dos características: la dispersión y la intermitencia. En el caso de la primera, la densidad energética solar es 1000 W/m², lo cual es insuficiente si se desea producir trabajo, es por ello que es necesario superficies captadoras para obtener densidades más elevadas; en cuanto a la segunda característica, hace que sea necesario sistemas que almacenen la energía solar que se capta.

1.3.6 Catálisis

Aquino (2017) expresa que un catalizador es una sustancia que aumenta la velocidad de la reacción química, y no se consume en el proceso, a esto se le denomina reacción catalizada y al proceso mismo, catálisis. Este proceso es importante en los procesos limpios ya que, al utilizar catalizadores, las reacciones se tornan más eficientes, permitiendo la eliminación de

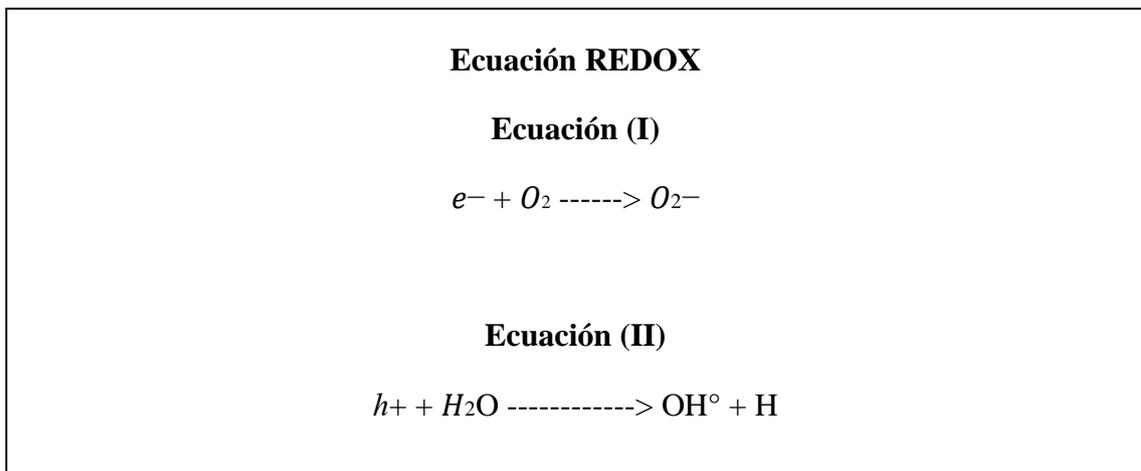
los subproductos de las reacciones tradicionales; lo cual también significa una disminución del uso de energía en el procedimiento.

1.3.7 Fotocatálisis Heterogénea:

Carbajo et al. (2016), explica que es un proceso de oxidación avanzada que sienta sus bases en la producción y migración de pares de electrones-hueco, al momento de irradiar un semiconductor.

Figura 1

Ecuaciones de óxido – reducción

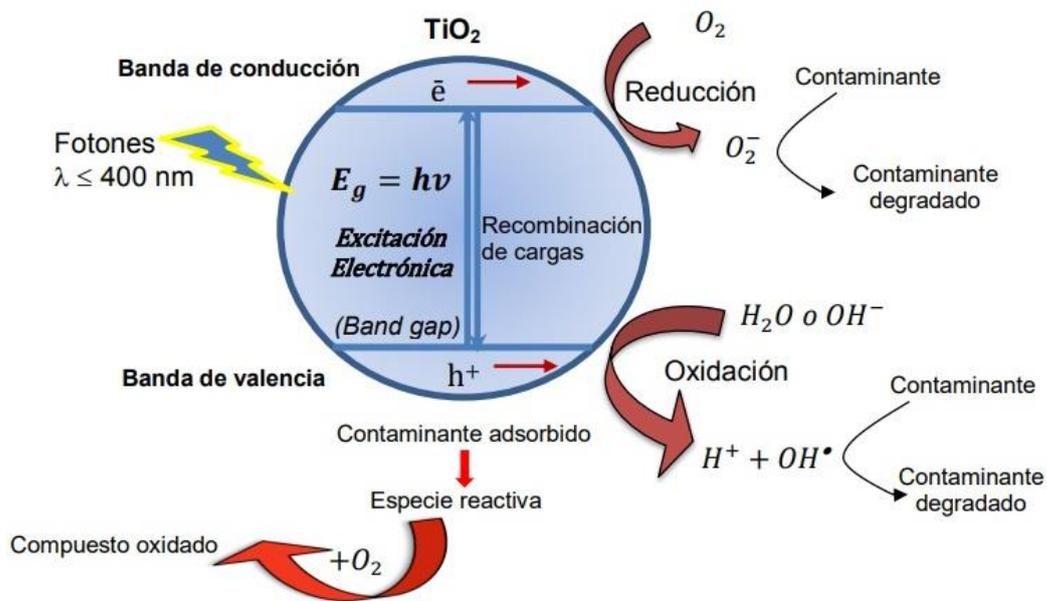


La ecuación en el gráfico representa las reacciones que tienen lugar en el proceso de reducción (ecuación 1) y de oxidación (ecuación 2).

En 2016, Carbajo et al. afirma que asienta sus bases en la excitación del fotocatalizador, que normalmente es un semiconductor como el dióxido de titanio, de banda ancha, a través de la irradiación de luz, de una energía mayor o igual a su band-gap, de esta manera produce la movilización del electrón de la banda de valencia hacia la banda conductiva, modelando pares electrón-hueco. Estos electrones, migran hacia el catalizador y reaccionan con las

sustancias cercanas a la superficie; y los huecos reaccionan con las especies que dan electrones y generan radicales hidroxilos altamente reactivos, con la capacidad de degradar material orgánico. Entre las aplicaciones de la fotocatalisis podemos encontrar: descontaminación de aguas, purificación de aire y otras propiedades autolimpiantes.

Figura 2
Principio de Fotocatálisis Heterogénea



Nota. Adaptado de *Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review* (p. 44), por Chong et al. 2010, *Water Research*, 44(10).

1.1.1 Catalizadores

Se utilizan una variedad de óxidos y sulfuros, entre los cuales, Herrmann (2006) destaca: “TiO₂, ZnO, CeO₂, ZrO₂, SnO₂, Sb₂O₄CdS, ZnS, etc” cabe resaltar que el más se empleado es el dióxido de Titanio, que Garcés et al. (2019) indican: “en forma de anatasa 99% y en forma de rutilo 1%” (p. 2). El dióxido de Titanio presenta las siguientes ventajas por las cuales es empleado:

- Bajo costo.
- Cuenta con alta actividad fotocatalítica.
- No representa toxicidad.
- Estabilidad en soluciones acuosas.

1.1.2 Contaminantes emergentes

Según Gil et al. (2012) “(...) son compuestos de distinto origen y naturaleza química, los cuales causan alteraciones ecosistémicas y afectan la salud humana. Corresponden a este grupo de contaminantes los productos farmacéuticos (fármacos), pesticidas, drogas, entre otros” (p. 1)

- **Fármacos:** Son sustancias que presentan propiedades específicas para tratar o prevenir enfermedades y corregir o restaurar funciones fisiológicas.

A continuación, en la Tabla 1, se puede visualizar la principal información de los fármacos objetivos de la investigación, basada en la información provista por De la Cruz (2013):

Tabla 1

Datos de los contaminantes emergentes a tratar

Compuesto	Rango de dosis de riesgo (ug/L)	Clase de Riesgo	Grupo Terapéutico	N° de países en el mundo donde se encontró el fármaco en el medio acuático
Ibuprofeno	0,01	Reducción en la reproducción en medioambiente acuático.	Antiinflamatorio no esteroideo	47
Diclofenaco	0,5-50	Afectaciones a los tejidos branquiales y nefrológicos de peces de agua dulce.	Analgésico y antiinflamatorio	50

Nota. Esta tabla muestra, con respecto al ibuprofeno y diclofenaco, el rango de dosis de riesgo, la clase de riesgo que involucra, el grupo terapéutico al que pertenecen y el número de países donde se encontraron en el medio acuático

PNEC: National Library of Medicine (2015), afirma que es la abreviación de ‘‘Predicted no effect concentration’’ o concentración prevista sin efecto, es la estimación de la concentración umbral, establecida para fármacos, que no afecta a un organismo determinado. Dicho cociente de medición es empleado en países como Estados Unidos, China, Japón, Italia y Gran Bretaña.

1.1.3 Parámetros fisicoquímicos

Se definen, según lo expuesto por Pino (2018), los cinco parámetros fisicoquímicos tomados en consideración:

- pH: El potencial de hidrógeno en el efluente es sumamente relevante, debido a que un agua demasiado ácida o básica simboliza toxicidad, directa o indirectamente, para la biota acuática. Por otro lado, el nivel de pH afecta los procesos de tratamiento de aguas.
- Conductividad: Corresponde a la capacidad de transporte de corriente eléctrica, siendo dependiente de las concentraciones, temperatura, iones presentes y viscosidad de la solución. Este parámetro fue considerado, por la razón de que proporciona una idea del nivel de salinidad del agua residual.
- DBO: La demanda bioquímica de oxígeno es definida como la cantidad de oxígeno requerida por una determinada comunidad microbiana, para conseguir la oxidación de una muestra de agua en 5 días. Este parámetro fue considerado, debido a que representa una medida del nivel de contaminación orgánica del agua residual.
- DQO: La demanda química de oxígeno es definida como la cantidad necesaria de oxígeno para lograr la descomposición química del material orgánico degradable bajo condiciones controladas. Este parámetro fue considerado, debido a que es empleado como una medida de contaminantes en las aguas residuales en general.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

- ¿Cuál será la Eficiencia técnica del proceso de fotocátalisis heterogénea para la remoción de fármacos en el tratamiento de aguas residuales hospitalarias?

1.2.2 Problema Específico

- ¿Cuál será la eficiencia sobre el proceso de fotocátalisis heterogénea, de las diferentes concentraciones de los fármacos presentes (ibuprofeno y diclofenaco) en las aguas residuales hospitalarias?
- ¿Cuál será la eficiencia en el proceso de fotocátalisis heterogénea, de la remoción de los parámetros fisicoquímicos demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno?

1.3 Justificación

El ciclo natural del agua se ve afectado al no existir una descontaminación exhaustiva de las aguas residuales hospitalarias, esto debido a la alta concentración de contaminantes tanto orgánicos como químicos, presentes en las mismas.

Al encontrarse una carga elevada de fármacos en las aguas residuales hospitalarias, los parámetros fisicoquímicos también se ven afectados, principalmente en la DBO y DQO, es por ello que es necesario el tratamiento de las aguas residuales hospitalarias mediante procesos de oxidación avanzada, que beneficiarán la calidad de las mismas, por su capacidad de remoción tanto de compuestos tóxicos como recalcitrantes, es decir de fármacos.

La presente investigación, tiene como finalidad resaltar la eficiencia de la técnica de fotocátalisis heterogénea aplicada en las aguas residuales hospitalarias, con respecto al porcentaje de remoción de tres fármacos (ibuprofeno y diclofenaco) en contraste con la disminución de los parámetros fisicoquímicos de DBO y DQO a las concentraciones permitidas, con mínimos impactos ambientales.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo General*

- Determinar la Eficiencia técnica del proceso de fotocátalisis heterogénea para la remoción de fármacos en el tratamiento de aguas residuales hospitalarias.

1.4.2 *Objetivo Específico*

- Identificar las eficiencias de concentraciones de los fármacos ibuprofeno y diclofenaco en las aguas residuales hospitalarias sobre el proceso de fotocátalisis heterogénea.
- Determinar las eficiencias de remoción de los parámetros demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en el proceso de fotocátalisis heterogénea.

1.5 Hipótesis

1.5.1 *Hipótesis General*

- La aplicación de la técnica fotocátalisis heterogénea en el tratamiento de aguas residuales hospitalarias es eficiente para la remoción de fármacos.

1.5.2 *Hipótesis Específica*

- El empleo del proceso de fotocátalisis heterogénea se identifica significativamente con las eficiencias de concentraciones de los fármacos en las aguas residuales hospitalarias.
- El proceso de fotocátalisis heterogénea va a determinar la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales hospitalarias.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que se formula una propuesta teórica modelo a una necesidad en el ámbito práctico, mediante un diagnóstico de la situación a tendencia futura, teniendo como pilar fundamental un procedimiento investigativo sostenido de una búsqueda sistemática que permite el análisis, la comparativa y la predicción pertinente para probar las hipótesis propuestas con anterioridad, respecto a la eliminación de contaminantes recalcitrantes, específicamente ibuprofeno y diclofenaco, mediante la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea en aguas residuales hospitalarias, a través del análisis fisicoquímico de los parámetros DBO y DQO.

Por otro lado, posee un alcance correlacional, por la asociación de la variable dependiente, la cual es la eficiencia de remoción de fármacos, con la variable independiente, siendo esta la técnica de fotocátalisis heterogénea.

2.1.1 *Diseño de Investigación*

El diseño de investigación es no experimental – longitudinal, ya que mediante revisiones focalizadas de la literatura científica se recopilieron resultados de eficiencia de remoción de contaminantes emergentes (ibuprofeno y diclofenaco) con la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea para de esta manera evaluar e inferir los cambios y consecuencias del presente estudio.

2.2 Población y muestra

La población corresponde a las investigaciones científicas, cuyo ámbito temático radica en el estudio de la eficiencia técnica de la fotocátalisis heterogénea aplicada al tratamiento de aguas residuales hospitalarias, además de ello, estudios acerca de la

utilización del catalizador TiO₂ en la técnica señalada y aquellos que la focalizan en hospitales o centros de salud determinados, para el tratamiento de sus aguas residuales. De esta forma, existe una total accesibilidad a la población, por lo que no es necesaria la extracción de una muestra, al respecto Sapieri et al. (2016), confirma el criterio cuando el investigador cuenta con el 100% de acceso a la población. En la presente investigación se emplearon un total de 34 documentos de investigación, siendo 23 tesis de grado y 11 a artículos científicos; de los cuales se tomaron en cuenta 26 artículos, que cumplieron con los requisitos de inclusión, correspondiendo este número a la población y muestra.

2.3 Técnica e Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos

2.3.1 Materiales

Se dividió estratégicamente la presente investigación cuantitativa, en 4 fases o etapas, en las cuales, para un correcto desarrollo metodológico, se emplearon distintos materiales, tanto del ámbito digital como de escritorio. A continuación, se hacen mención, los materiales empleados en las fases establecidas:

- **Recolección y revisión de la literatura científica:** Esta primera fase es indispensable para el desarrollo del trabajo de investigación, porque nos permitirá sustentar teóricamente la variable del tema presente, para ello se utilizó las siguientes fuentes de información: Research Gate, Dialnet y Google Scholar como también repositorios institucionales tanto de universidades nacionales como internacionales
- **Valoración de la literatura científica:** En esta segunda etapa, se debe comprender que no toda información recolectada, es válida para el tratamiento confiable o verdadero de datos, por ello, se define que investigación será incluida de acuerdo a los criterios

establecidos de búsqueda, como la cantidad de años de antigüedad, idioma, y si responde a la pregunta de investigación.

- **Análisis detallado de la literatura científica:** Esta etapa permite determinar aspectos importantes tales como la evolución temporal de los artículos científicos e investigaciones y el acoplamiento de los mismos a las líneas de investigación, de esta manera lograr establecer una estrategia de búsqueda (conceptos y términos relacionados) para la elección de las fuentes informativas.
- **Síntesis y compendio la literatura científica:** En la presente fase se realizó la integración de datos, a través de la jerarquización de los mismos según el tópico de estudio, no obstante, en relación al nivel de trascendencia se procedió al ordenamiento gráfico de las investigaciones seleccionadas.

Tabla 2

Materiales empleados por fase

Fases	Materiales de escritorio	Materiales digitales
Recolección y revisión de la literatura científica	Bolígrafos y lápices portaminas.	
	Laptop ASUS Intel Core I5.	Ficha de registro bibliográfico.
	Tablet T5 Mediapad.	MS Word.
	Lápiz digital.	MS Excel.
	Memorias Universal Serial Bus.	OneDrive.
	Memorias SD y microSD.	Google Drive.
	Cuaderno de apuntes.	

Fases	Materiales de escritorio	Materiales digitales
Valoración de la literatura científica.	Laptop ASUS Intel Core I5. Tablet T5 Mediapad.	Ficha de registro bibliográfico y ficha de inclusión y exclusión bibliográfica.
	Memorias SD y microSD. Adaptador de conexiones. Cuaderno de apuntes. Bolígrafos y lápices portaminas. Lápiz digital.	MS Word. MS Excel. OneDrive.
Análisis detallado de la literatura científica	Cuadernos de apuntes. Bolígrafos y lápices portaminas.	Ficha de registro bibliográfico, ficha de identificación de parámetros, materiales y métodos empleados.
	Tablet T5 Mediapad. Memorias SD y microSD Lápiz digital. Adaptador de conexiones.	MS Excel. OneDrive.
Síntesis y compendio la literatura científica	Laptop ASUS Intel Core I5. Cuaderno de apuntes. Bolígrafos y lápices portaminas. Impresora EPSON HP 315.	Ficha de síntesis de bibliografía. MS Excel. Power Business Intelligence OneDrive Minitab

Nota. Esta tabla muestra, los materiales de escritorio y digitales, empleados en cada fase de la investigación.

2.3.2 Instrumentos

En la presente investigación se emplean a manera de instrumentos de recolección de datos, las bases de datos de ámbito científico: Research Gate, Dialnet y Google Scholar como también repositorios institucionales tanto de universidades nacionales como internacionales.

Así mismo, se utilizó el Software Minitab y MS Excel para el análisis estadístico de la base datos de eficiencia de la remoción de los fármacos, DBO y DQO.

2.4 Procedimiento y recolección de datos

Se utilizó, las investigaciones científicas con una antigüedad no mayor a 10 años hasta la fecha, es decir del 2013 en adelante, para de esta manera mantener una información viable y actualizada acerca de la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea en el tratamiento de aguas residuales hospitalarias.

Por otro lado, para el análisis de la data obtenida de la revisión de la literatura científica, se empleó el software MS Excel, con el cual se interpretó, elaboró, analizó y sintetizó la información requerida, aparte de ello, se utilizó el software Minitab para el tratamiento y posterior visualización interactiva de la data.

2.5 Análisis de datos / Análisis estadístico

Para la elaborar la investigación cuantitativa se emplearon 34 fuentes bibliográficas, las cuales fueron encontradas en 10 plataformas provistas de documentos y/o artículos científicos. Estos son de evidencia útil que nos ayudará a cumplir con los requisitos de inclusión, los cuales se basaron en el año de antigüedad no mayor a 10 años, idioma en inglés y español; y que responda a la pregunta de investigación y/o variables, todos los requisitos anteriormente mencionados se vieron reflejados en 24 documentos de investigación.

Se elaboró una tabla estadística, con los parámetros señalados, estableciéndose de esta manera una comparativa; con el fin de determinar el nivel de eficacia de la eliminación de agentes contaminantes en el agua, en términos de concentración y porcentaje.

Se emplean mediciones descriptivas, tales como la media aritmética, y las medidas de varianza y desviación estándar, con el fin de determinar la dispersión de la data, tomando como base el valor central de la información.

2.6 Aspectos éticos

La presente metodología investigativa no atenta contra el ser humano ni con los componentes bióticos y abióticos del ecosistema zonal, aparte de ello no impacta, significativamente, de manera negativa en el ambiente. Contrariamente, lo que busca, es brindar una solución al problema de la contaminación que aqueja actualmente no solo al Perú, sino también al mundo entero.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Eficiencias de las concentraciones de los fármacos en el agua residual hospitalaria

3.1.1 Ibuprofeno

3.1.1.1 Concentración Inicial

Según el análisis de la literatura científica respecto a la concentración inicial de ibuprofeno en las aguas residuales hospitalarias, se expresa cuantitativamente, en la tabla 3, los resultados obtenidos por cada autor.

Tabla 3

Valores iniciales de Ibuprofeno en aguas residuales hospitalarias

		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6
		<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cruz</i>	<i>Cruz</i>	<i>Miranda</i>
Concentración inicial	Ibuprofeno (mg/L)	13.99	13.99	13.99	1	1	0.1
		Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10	Exp. 11	Exp. 12
		<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>
		20	20	20	20	20	20

Nota. Esta tabla muestra las concentraciones iniciales de ibuprofeno en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina que la mayor concentración de Ibuprofeno corresponde a la experimentación 7, 9, 10, 11 y 12, realizadas por Nieto (2020), en la cual se identifica 20 mg/l del fármaco, por otro lado, el análisis del efluente hospitalario que presentó menor concentración de ibuprofeno, corresponde a la experimentación 4 y 5, elaboradas por Cruz (2019), registrando 1 mg/L del compuesto farmacéutico.

3.1.1.2 Concentración final

Según el análisis de la literatura científica respecto a la concentración final de ibuprofeno en las aguas residuales hospitalarias, se expresa cuantitativamente, en la tabla 4, los resultados obtenidos por cada autor.

Tabla 4

Valores finales de Ibuprofeno en aguas residuales hospitalarias

		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6
Concentración final	Ibuprofeno mg/L	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cruz</i>	<i>Cruz</i>	<i>Miranda</i>
		6.17	7.38	9.02	0.94	0.92	0.00
		Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10	Exp. 11	Exp. 12
		<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>
		2.348	1.72	2.022	1.99	3.812	3.252

Nota. Esta tabla muestra la concentración final de ibuprofeno en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina que la mayor concentración de Ibuprofeno corresponde a la experimentación 3, realizadas por Cortez (2018), en la cual se identifica 9.02 mg/l del fármaco, por otro lado, el análisis del efluente hospitalario que presentó menor concentración de ibuprofeno, corresponde a la experimentación 6, elaborada por Miranda (2015), registrando 0 mg/L del compuesto farmacéutico.

3.1.1.3 Porcentaje de Remoción

Tabla 5

Valores de remoción de Ibuprofeno en aguas residuales hospitalarias

		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6
		<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cruz</i>	<i>Cruz</i>	<i>Miranda</i>
Remoción de fármacos	% de remoción de	55.9	47.22	35.48	94	92	100
	de Ibuprofeno	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10	Exp. 11	Exp. 12
		<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>	<i>Nieto</i>
		88.26	91.4	89.89	90.05	80.94	83.74

Nota. Esta tabla muestra los porcentajes de remoción de ibuprofeno en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina mayor porcentaje de remoción de ibuprofeno en la experimentación 6, realizada por Miranda (2015), logrando una degradación completa del fármaco en cuestión, por otro lado, el menor porcentaje de remoción obtenido, fue en la experimentación 3, realizada por Cortez (2018), obteniendo una degradación de 35.48% del contaminante emergente.

3.1.1.4 Evaluación Estadística

En la evaluación estadística realizada, se excluyen 3 experimentaciones: 55.90 %, 47.22 % y 35.48 %; realizadas por Cortez (2018), esto debido a factores externos que influyen en la eficiencia de la técnica de fotocátalisis heterogénea y que se ven reflejados en porcentajes de remoción inferiores que no aportan a la investigación ni a la evaluación estadística analizada.

Tabla 6

Data de porcentajes de remoción de Ibuprofeno en muestras de agua

Ibuprofeno	Datos		Resultados	
	1		55.90%	
	2		47.22%	
	3		35.48%	
	4		94.00%	
	5		92.00%	
	6		100.00%	
	7		88.26%	
	8		91.40%	
	9		89.89%	
	10		90.05%	
	11		80.94%	
	12		83.74%	
Promedio	90.03%	Valor Mínimo (%)	80.94%	
Desviación Estándar	5.55%	Valor Máximo (%)	100.00%	

Nota. Esta tabla muestra la data evaluada estadísticamente, con respecto al porcentaje de remoción de ibuprofeno; los valores resaltados de amarillo no se tomaron en cuenta.

En el análisis de los porcentajes de remoción obtenidos, desde la experimentación 4 hasta la experimentación 10, se puede determinar que el valor mínimo conseguido es de 80.94%, mientras que el máximo alcanzado es de 100%. No obstante, el promedio de los porcentajes de remoción estudiados en la investigación es de 90.03%, con una desviación estándar de 5.55%.

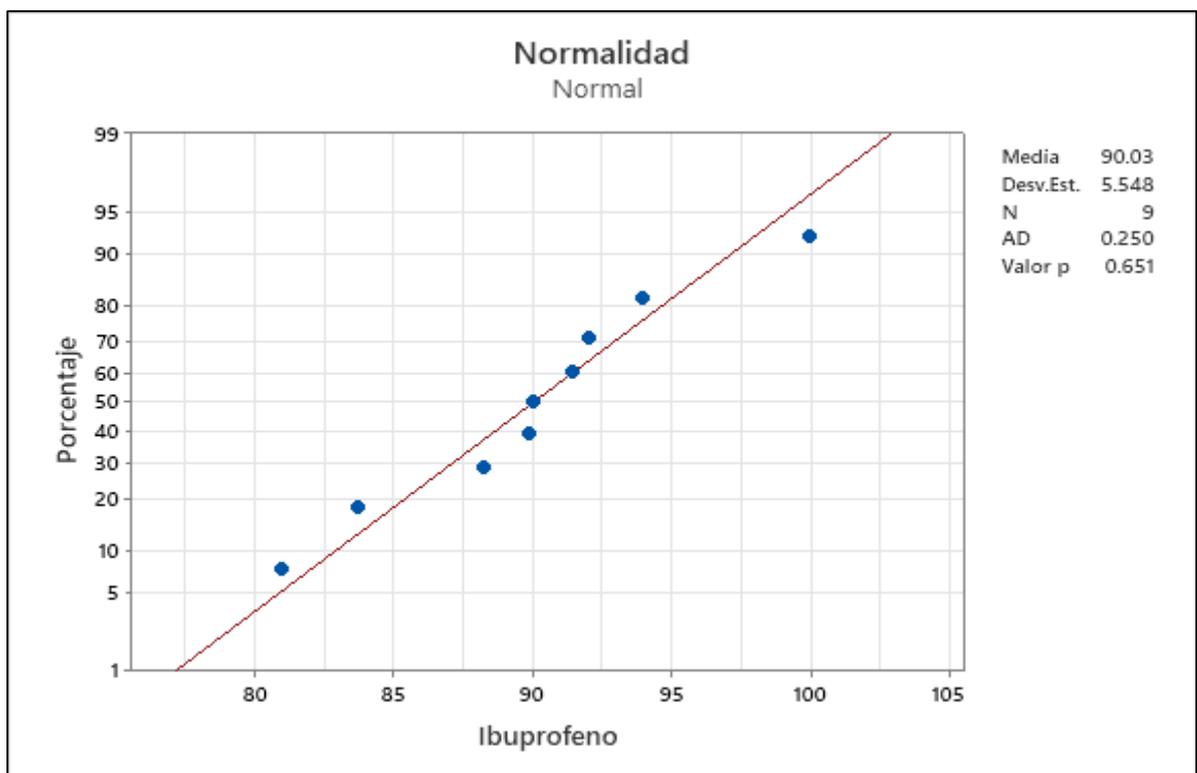
a) Prueba de Normalidad - Anderson – Darling

Se utilizará el estadístico de distribución de normalidad de Anderson Darling, a un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0.05$. Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que

determina que los datos no siguen una distribución normal, es decir son no paramétricos; por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando a los datos como paramétricos o normales.

Figura 3

Resultados de la prueba de normalidad Anderson – Darling



Conclusión:

P-value =	0.651	> 0.05
Los datos tienen un comportamiento Normal		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 0.651 que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que los datos siguen una distribución normal, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0), y se cuenta con datos paramétricos.

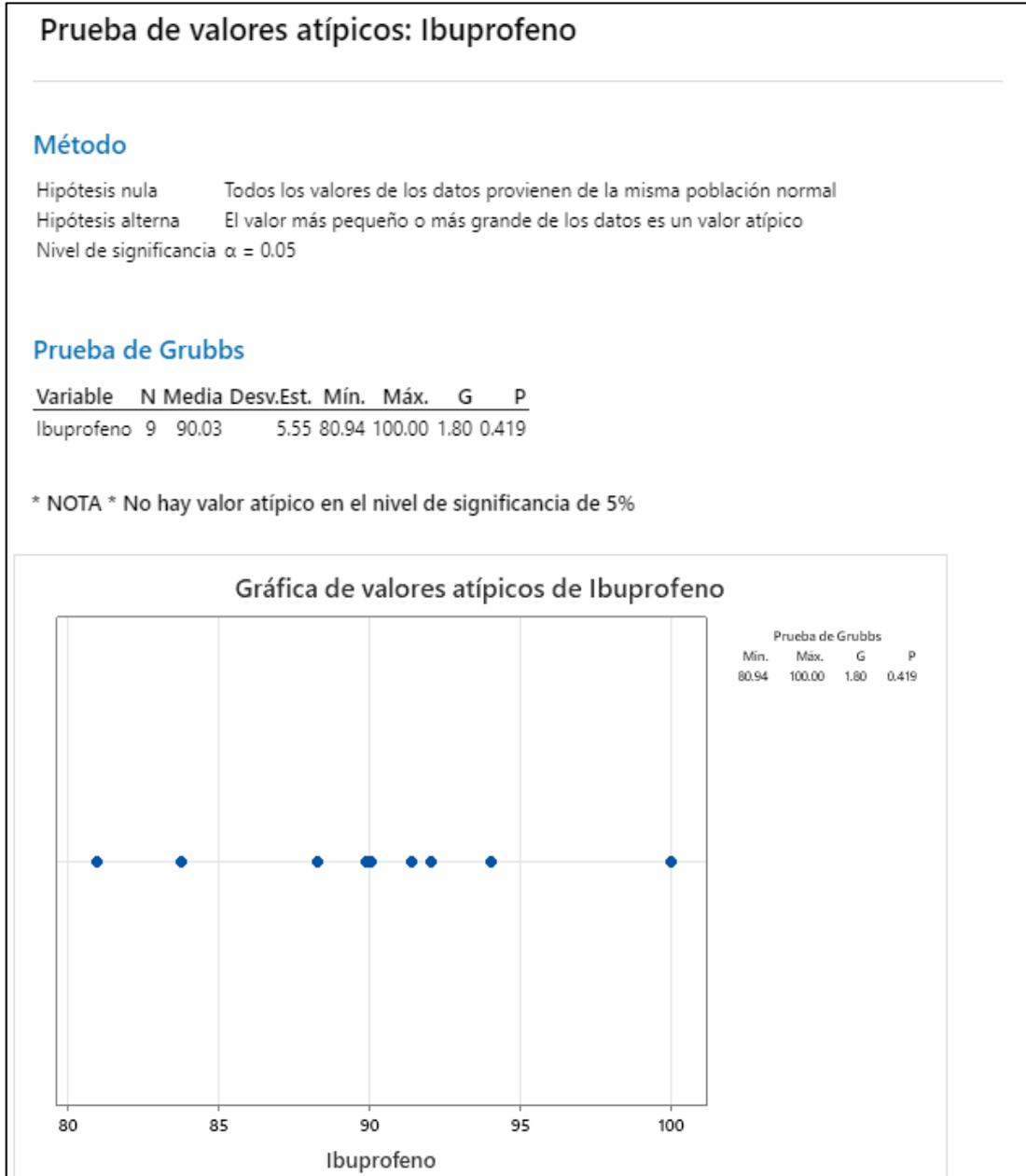
En esta gráfica de probabilidad, los datos forman una línea aproximadamente recta a lo largo de la línea. La distribución normal se ajusta adecuadamente a los datos del porcentaje de remoción.

b) Prueba de Atipicidad – Grubbs

La prueba de atipicidad de Grubbs, se aplica a datos que posean distribución normal, como los analizados en la investigación. Para esta prueba se utilizará un nivel de significancia de 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que los datos si cuentan con valores atípicos, es decir el valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico; por otro lado, si el valor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que el valor más pequeño o más grande de los datos no es un valor atípico.

Figura 4
Resultados de la prueba de atipicidad - Grubbs



Conclusión:

P-value =	0.419	> 0.05
Los datos no presentan valores atipicos		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 0.419, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que el valor más pequeño o más grande de la data analizada no contiene valores atípicos, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0).

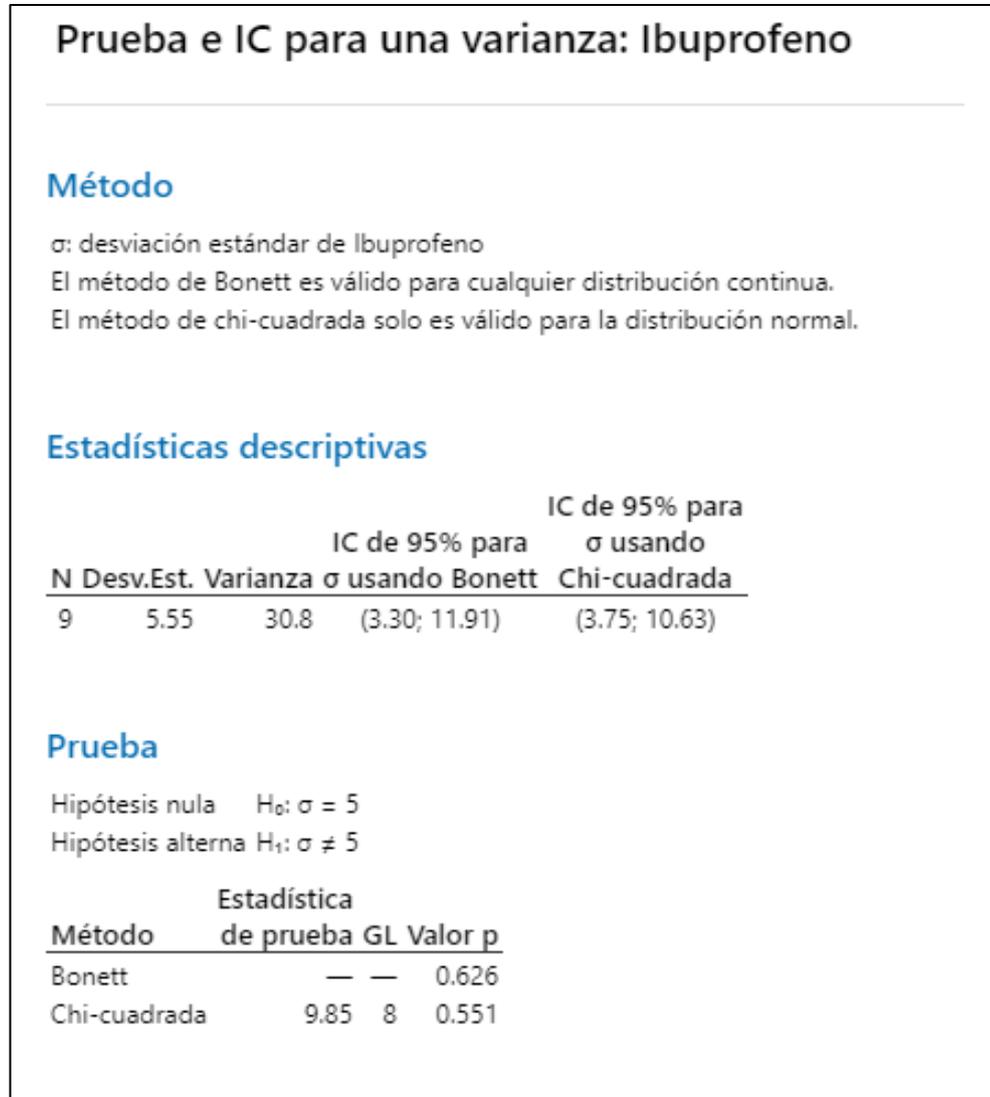
c) Prueba de Homogeneidad de Varianzas – Método de Bonnet y Método Chi Cuadrada

Se aplicó la prueba de Bonnet, debido a que se cuenta con datos normales, siendo sólida solo al presentarse esta característica; para esta prueba se empleó un nivel de significancia de 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que las varianzas no son iguales, por otro lado, si el valor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que las varianzas son homogéneas.

Por otro lado, la prueba chi cuadrada, se empleó para determinar la asociación de las variables categóricas; además de ello, se denotó como nivel de significancia 0.05.

Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que existe una asociación significativa entre las variables, por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que las variables no están asociadas.

Figura 5
Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas

Conclusión:

P-value =	0.626	> 0.05
P-value =	0.551	> 0.05
Se demuestra que no hay diferencia significativa de las varianzas		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, en la prueba de Bonett, se obtuvo un valor p de 0.626, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que las varianzas son homogéneas, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0).

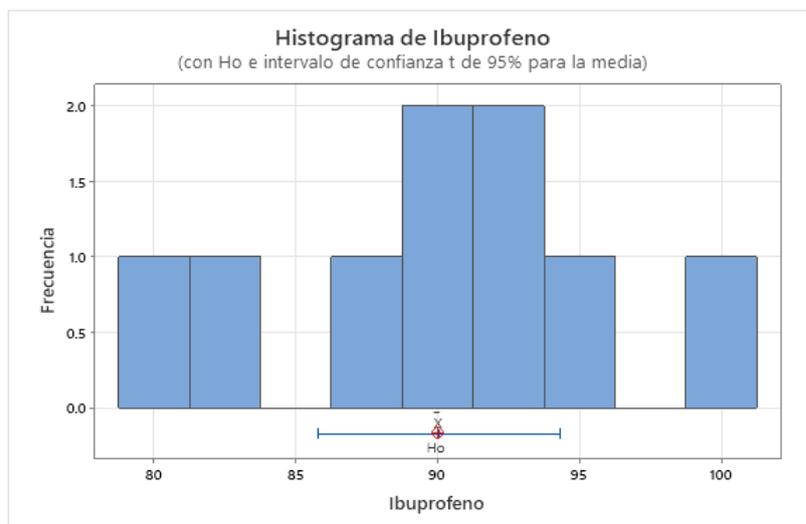
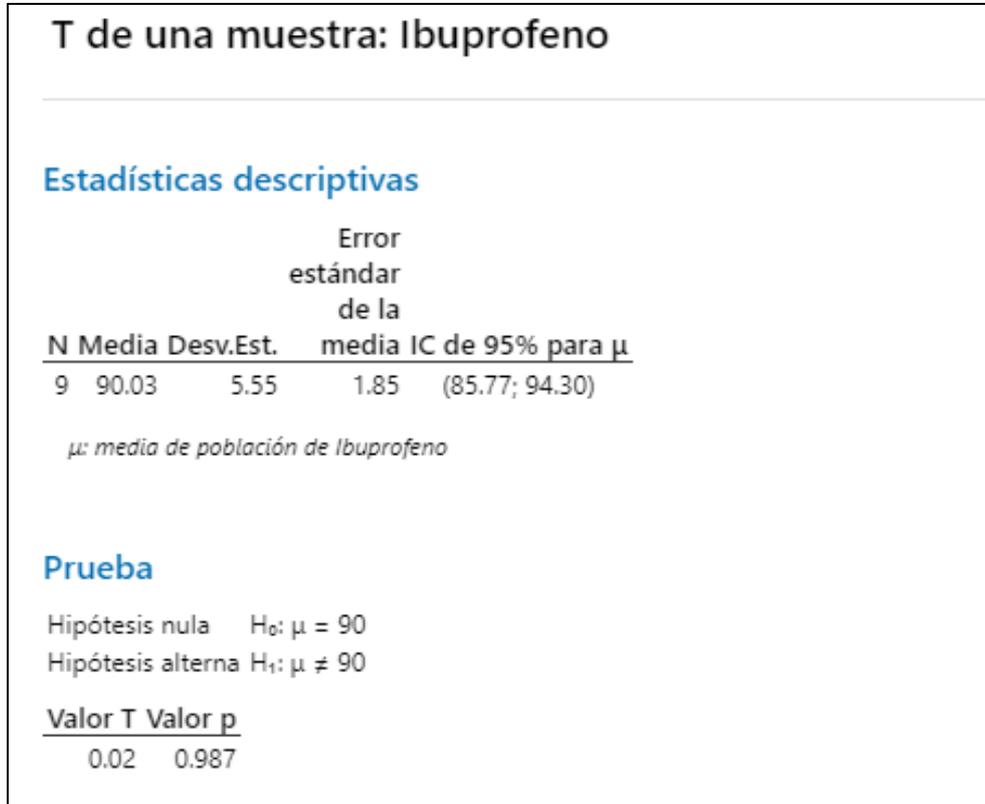
Por otro lado, teniendo como valor de significancia a 0.05 en la prueba de Chi Cuadrada, se obtuvo un valor p de 0.551, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que las variables no están asociadas.

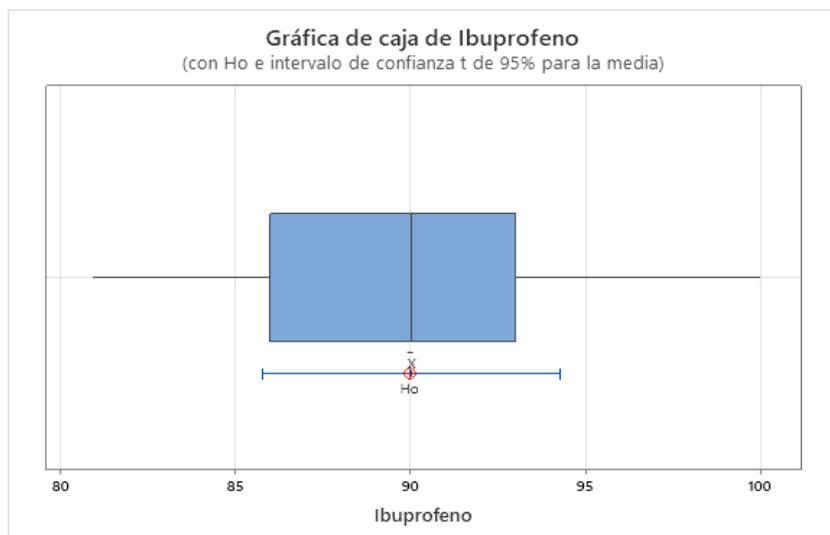
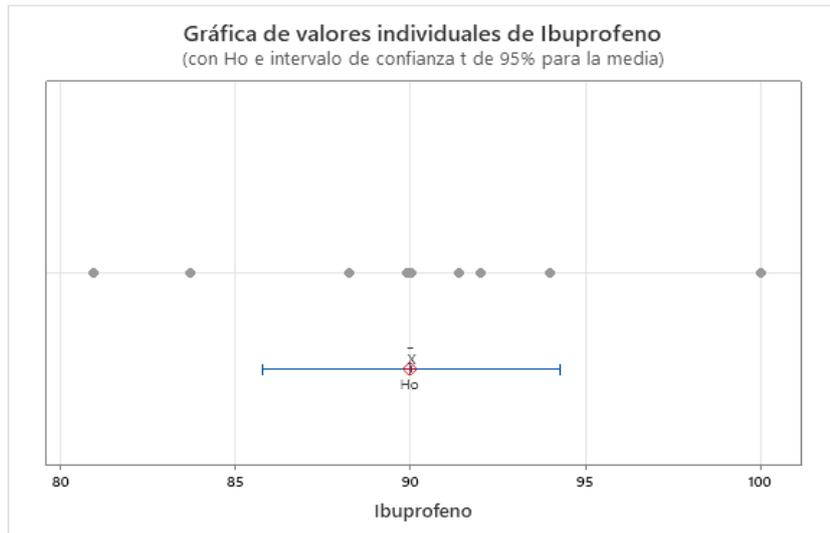
d) Prueba de T de una muestra – Media Hipotética

Se empleó la prueba T de una muestra para determinar si la media aritmética de la data analizada, es igual al valor objetivo (teórico) o difiere del mismo; para realizar la prueba se tomó como valor de significancia a 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que el parámetro es más pequeño, más grande o diferente del valor teórico, por otro lado, si el valor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la decisión es que se aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que un parámetro es igual o similar al valor teórico.

Figura 6
Resultados de la prueba de T de una muestra





Conclusión:

P-value =	0.987	> 0.05
La media aritmética de los resultados no difiere significativamente al valor teórico		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 0.987, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que la media aritmética de los resultados no difiere significativamente del valor teórico, es decir se aprueba la hipótesis nula (Ho).

3.1.2 Diclofenaco

3.1.2.1 Concentración Inicial

Los resultados del análisis de la literatura científica, indican el Diclofenaco en la caracterización del Agua Residual Hospitalarias. Así mismo, se expresa la cuantificación del Diclofenaco medido por cada autor de la revisión bibliográfica en la Tabla 7:

Tabla 7

Valores iniciales de Diclofenaco en aguas residuales hospitalarias

		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
		<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>De la Fuente</i>
Concentración inicial	Diclofenaco mg/L	0.36	0.397	0.548	18
		Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	
		<i>Hernando</i>	<i>Hernando</i>	<i>Hernando</i>	
		2.4	0.00206	0.00206	

Nota. Esta tabla muestra las concentraciones iniciales de diclofenaco en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina que la mayor concentración de Diclofenaco corresponde a la experimentación 4, realizada por De la Fuente (2018), en la cual se identifica 18 mg/l del fármaco, por otro lado, el análisis del efluente hospitalario que presentó menor concentración de Diclofenaco,

corresponde a la experimentación 6 y 7 elaboradas por Hernando (2017), en las cuales, se registró 0.00206 mg/l del compuesto farmacéutico.

3.1.2.2 Concentración Final

Según el análisis de la literatura científica respecto a la concentración final de diclofenaco en las aguas residuales hospitalarias, se expresa cuantitativamente, en la tabla 8, los resultados obtenidos por cada autor.

Tabla 8

Valores finales de Diclofenaco en aguas residuales hospitalarias

Concentración final	Diclofenaco mg/L	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
		Cortez	Cortez	Cortez	De la Fuente
		0.009	0.011	0.129	0.45
		Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	
		Hernando	Hernando	Hernando	
		0.96	0.00052509	0.00005253	

Nota. Esta tabla muestra la concentración final de diclofenaco en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina que la mayor concentración de diclofenaco corresponde a la experimentación 5, realizada por Hernando (2017), en la cual se identifica 0.96 mg/l del fármaco, por otro lado, el análisis del efluente hospitalario que presentó menor concentración de diclofenaco, corresponde a la experimentación 7, elaborada por Hernando (2017), registrando 0.00005253 mg/L del compuesto farmacéutico.

3.1.2.3 Porcentaje de Remoción

Tabla 9

Valores de remoción de Diclofenaco en aguas residuales hospitalarias

Remoción de fármacos	% de remoción de Diclofenaco	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
		Cortez	Cortez	Cortez	De la Fuente
		97.44	97.18	96.1	97.5
Remoción de fármacos	% de remoción de Diclofenaco	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	
		Hernando	Hernando	Hernando	
		60	74.51	97.45	

Nota. Esta tabla muestra los porcentajes de remoción de diclofenaco en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina mayor porcentaje de remoción de ibuprofeno en la experimentación 4, realizada por De la Fuente (2018), logrando una degradación de 97.5% del fármaco, por otro lado, el menor porcentaje de remoción obtenido, fue en la experimentación 5, realizada por Hernando (2017), obteniendo una degradación de 60% del contaminante emergente.

3.1.2.4 Evaluación Estadística

En la evaluación estadística realizada, se tomaron en cuenta todos los porcentajes de remoción obtenidos en las experimentaciones mencionadas.

Tabla 10

Data de porcentajes de remoción de Diclofenaco en muestras de agua

Diclofenaco	Datos	Resultados
		1
	2	97.18
	3	96.1
	4	97.5
	5	60
	6	74.51
	7	97.45

Promedio	88.6	Valor Mínimo (%)	60
Desviación Estándar	15.18	Valor Máximo (%)	97.5
Mediana	97.18		

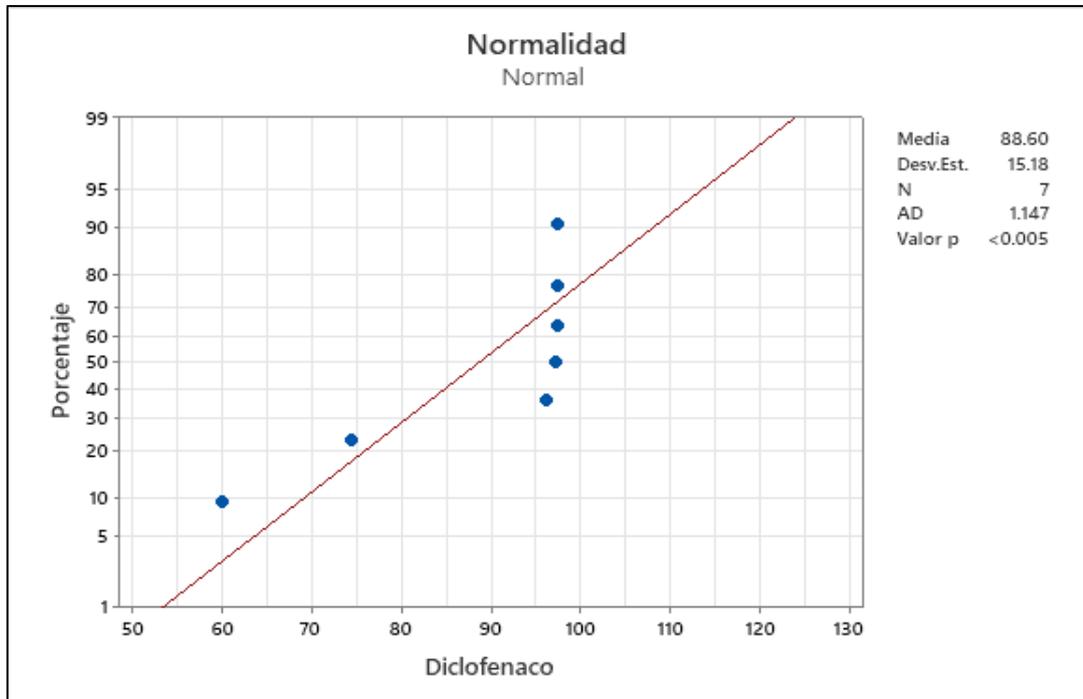
Nota. Esta tabla muestra la data evaluada estadísticamente, con respecto al porcentaje de remoción de diclofenaco.

En el análisis de los porcentajes de remoción obtenidos, se puede determinar que el valor mínimo conseguido es de 60%, mientras que el máximo alcanzado es de 97.5%. No obstante, el promedio de los porcentajes de remoción estudiados en la investigación es de 88.60%, con una desviación estándar de 15.18%. Por otro lado, de los datos obtenidos, se determinó que la mediana es de 97.18%.

a) Prueba de Normalidad - Anderson – Darling

Se utilizará el estadístico de distribución de normalidad de Anderson Darling, a un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0.05$. Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que los datos no siguen una distribución normal, es decir son no paramétricos; por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando a los datos como paramétricos o normales.

Figura 7
Resultados de la prueba de normalidad Anderson – Darling



Conclusión:

P-value =	0	< 0.05
Los datos no tienen un comportamiento Normal		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p menor a 0.05, por lo que se puede concluir que los datos no siguen una distribución normal, es decir se aprueba la hipótesis alterna (H1), y se cuenta con datos no paramétricos.

b) Prueba de atipicidad – Dixon

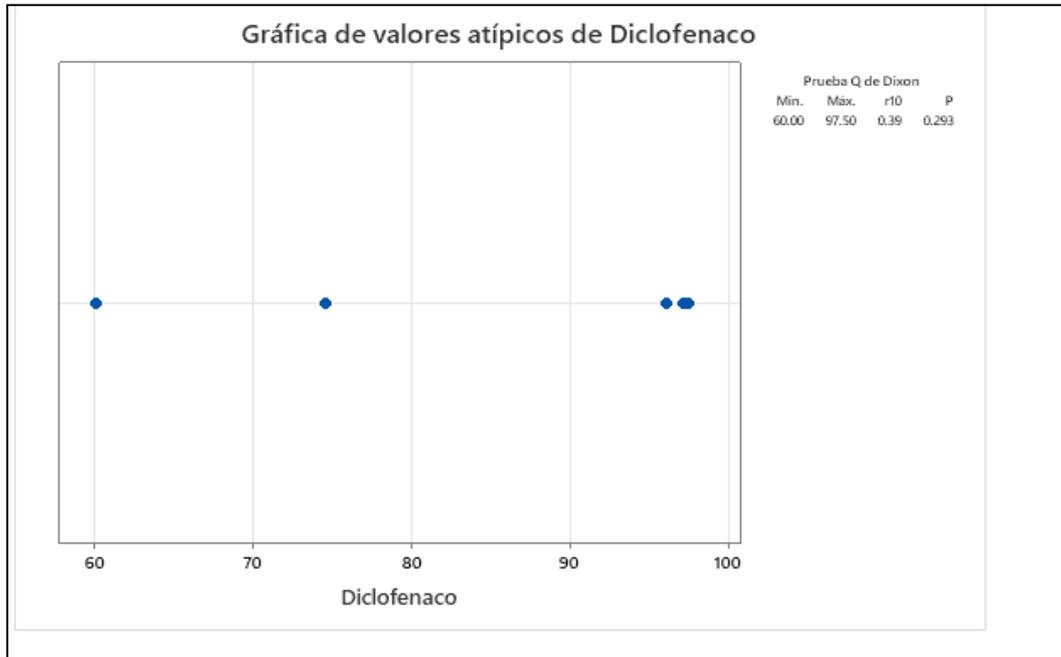
La prueba de atipicidad de Dixon, se aplica a datos que posean distribución no normal, como los analizados en la investigación. Para esta prueba se utilizará un nivel de significancia de 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que el valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico; por otro lado, si el valor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que todos los datos provienen de la misma población normal; es decir la data no presenta valores atípicos.

Figura 8

Resultados de la prueba de atipicidad - Dixon





Conclusión:

P-value =	0.293	> 0.05
Los datos no presentan valores atípicos		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 0.293, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que la data analizada no contiene valores atípicos, es decir se aprueba la hipótesis nula (Ho).

c) Prueba de Homogeneidad de Varianzas – Método de Bonnet y Método Chi Cuadrada

Se aplicó la prueba de Bonnet, para esta prueba se empleó un nivel de significancia de 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (Ho) y aceptar la hipótesis alterna (H1), que determina que las varianzas no son iguales, por otro lado, si el lor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la

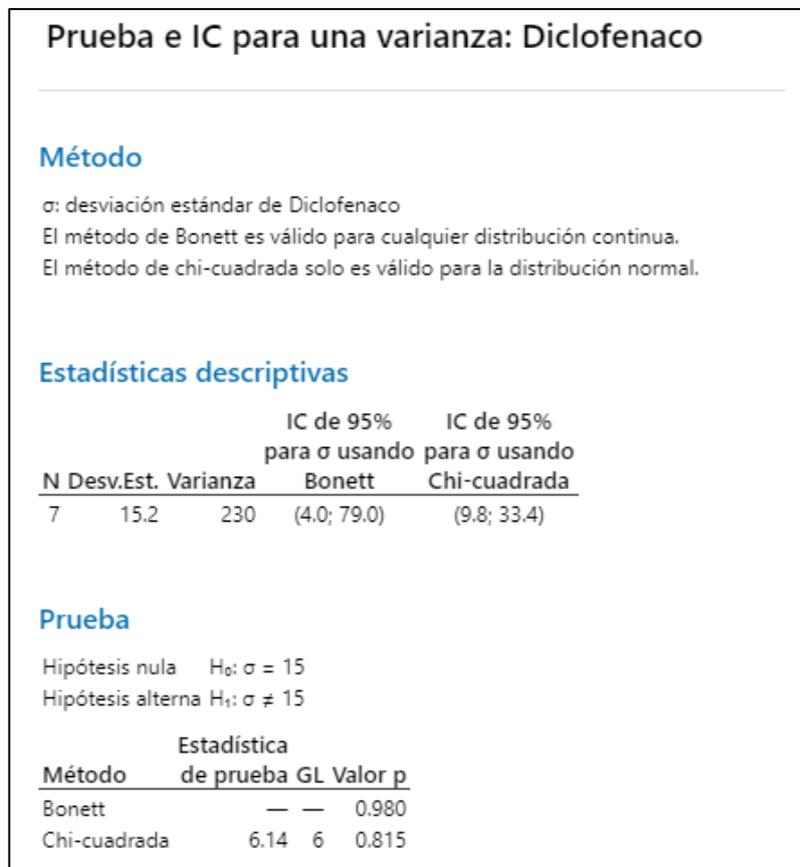
decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que las varianzas son homogéneas.

Por otro lado, la prueba chi cuadrada, se empleó para determinar la asociación de las variables categóricas; además de ello, se denotó como nivel de significancia 0.05.

Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que existe una asociación significativa entre las variables, por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que las variables no están asociadas.

Figura 9

Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas



Conclusión:

P-value =	0.98	> 0.05
P-value =	0.815	> 0.05
Se demuestra que no hay diferencia significativa de las varianzas		

Interpretación

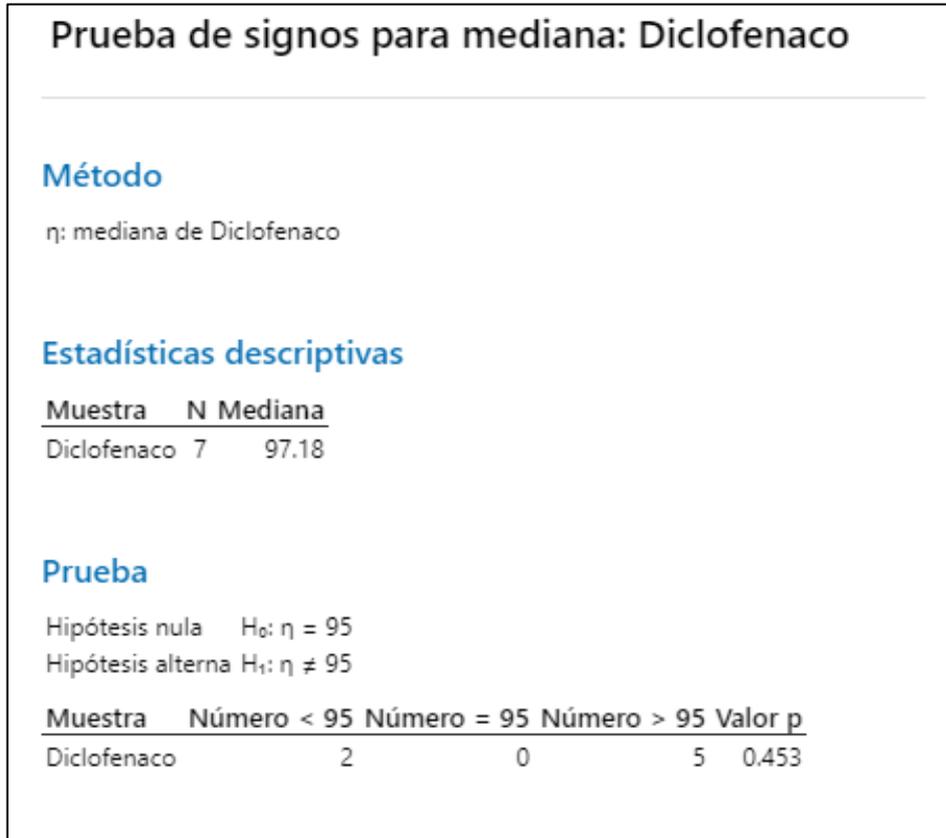
Siendo el valor de significancia 0.05, en la prueba de Bonett, se obtuvo un valor p de 0.98, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que las varianzas son homogéneas, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0).

Por otro lado, teniendo como valor de significancia a 0.05 en la prueba de Chi Cuadrada, se obtuvo un valor p de 0.815, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que las variables no están asociadas.

d) Prueba de signos para una muestra – Mediana hipotética

Se empleó la prueba de signos para una muestra para determinar si la mediana de la data analizada, es igual al valor objetivo (teórico) o difiere del mismo; para realizar la prueba se tomó como valor de significancia a 0.05.

Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que la diferencia entre las medianas es significativamente diferente, por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que se aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que la diferencia entre las medianas no es significativamente diferente.

Figura 10
Resultados de la prueba de signos para una muestra

Conclusión:

P-value =	0.453	> 0.05
La diferencia entre las medianas no es significativamente diferente		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 0.453 que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que La diferencia entre las medianas no es significativamente diferente, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0).

3.2 Eficiencias de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en el agua residual hospitalaria

3.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

3.2.1.1 Concentración Inicial

Según el análisis de la literatura científica respecto a la concentración inicial de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en las aguas residuales hospitalarias, se expresa cuantitativamente, en la tabla 11, los resultados obtenidos por cada autor

Tabla 11

Valores iniciales de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas residuales hospitalarias

		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5
Concentración Inicial	DBO mg/L	<i>Pariona y Pineda</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>
		980	3925.8	3925.8	3925.8	3315.3
		Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10
		<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>
		3315.3	3315.3	3812.1	3812.1	3812.1

Nota. Esta tabla muestra las concentraciones iniciales de DBO en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina que la mayor concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno corresponde a la experimentación 2, 3 y 4, realizadas por Giraldo (2016), en la cual se identifica 3925.8 mg/l del DBO, por otro lado, el análisis del efluente hospitalario que presentó menor concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno corresponde a la experimentación 1, elaborada por Pariona y Pineda (2019), registrando 980 mg/L del compuesto fisicoquímico

3.2.1.2 Concentración final

Según el análisis de la literatura científica respecto a la concentración final de Demanda Bioquímica de Oxígeno en las aguas residuales hospitalarias, se expresa cuantitativamente, en la tabla 12, los resultados obtenidos por cada autor.

Tabla 12

Valores finales de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas residuales hospitalarias

Concentración Final	DBO mg/L	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5
		<i>Pariona y Pineda</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>
		235	3000	1537.1	712.65	2086.95
		Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10
		<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>
		1000.25	486.25	2323.75	1004.2	203.1

Nota. Esta tabla muestra la concentración final de DBO en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina que la mayor concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno corresponde a la experimentación 2, realizada por Giraldo (2016), en la cual se identifica 3000 mg/l del DBO₅, por otro lado, el análisis del efluente hospitalario que presentó menor concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno, corresponde a la experimentación 10, elaborada por Giraldo (2016), registrando 203.1 mg/L del compuesto fisicoquímico.

3.2.1.3 Porcentaje de Remoción

Tabla 13

Valores de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas residuales hospitalarias

Remoción de parámetros fisicoquímicos	% remoción DBO	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5
		<i>Pariona y Pineda</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>
		76.02	23.58	60.85	81.85	37.05
		Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10
		<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>
		69.83	85.33	39.04	73.66	94.67

Nota. Esta tabla muestra los porcentajes de remoción de DBO en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina mayor porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno en la experimentación 10, realizada por Giraldo (2016), logrando una degradación del 94.67 % de compuesto fisicoquímico, por otro lado, el menor porcentaje de remoción obtenido, fue en

la experimentación 2, realizada por Giraldo (2016), obteniendo una degradación de 23.58% del contaminante.

3.2.1.4 Evaluación Estadística

En la evaluación estadística realizada, se excluyen 3 experimentaciones: 23.58 %, 37.05 % y 39.04 %; realizadas por Giraldo (2016), esto debido a factores externos que influyen en la eficiencia de la técnica de fotocatalisis heterogénea y que se ven reflejados en porcentajes de remoción inferiores que no aportan a la investigación ni a la evaluación estadística analizada.

Tabla 14

Data de porcentajes de remoción de DBO en muestras de agua

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Datos	Resultados
	1	76.02
	2	23.58
	3	60.85
	4	81.85
	5	37.05
	6	69.83
	7	85.33
	8	39.04
	9	73.66
	10	94.67
Promedio	77.46	Valor Mínimo (%) 60.85
Desviación Estándar	11.02	Valor Máximo (%) 94.67

Nota. Esta tabla muestra la data evaluada estadísticamente, con respecto al porcentaje de remoción de DBO; los valores resaltados de amarillo no se tomaron en cuenta.

En el análisis de los porcentajes de remoción obtenidos, exceptuando el experimento 2, 5 y 8, se puede determinar que el valor mínimo conseguido es de 60.85%, mientras que el

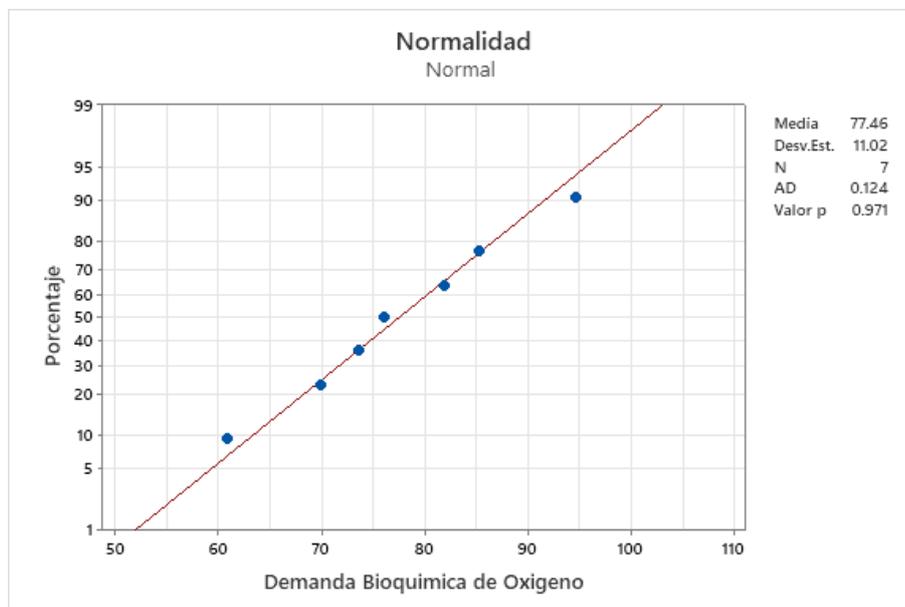
máximo alcanzado es de 94.67%. No obstante, el promedio de los porcentajes de remoción estudiados en la investigación es de 77.46%, con una desviación estándar de 11.02%.

a) Prueba de Normalidad - Anderson – Darling

Se utilizará el estadístico de distribución de normalidad de Anderson Darling, a un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0.05$. Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que los datos no siguen una distribución normal, es decir son no paramétricos; por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando a los datos como paramétricos o normales.

Figura 11

Resultados de la prueba de normalidad – Anderson – Darling



Conclusión:

P-value =	0.971	> 0.05
Los datos tienen un comportamiento Normal		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 0.971, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que los datos siguen una distribución normal, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0), y se cuenta con datos paramétricos.

En esta gráfica de probabilidad, los datos forman una línea aproximadamente recta a lo largo de esta. La distribución normal se ajusta adecuadamente a los datos del porcentaje de remoción.

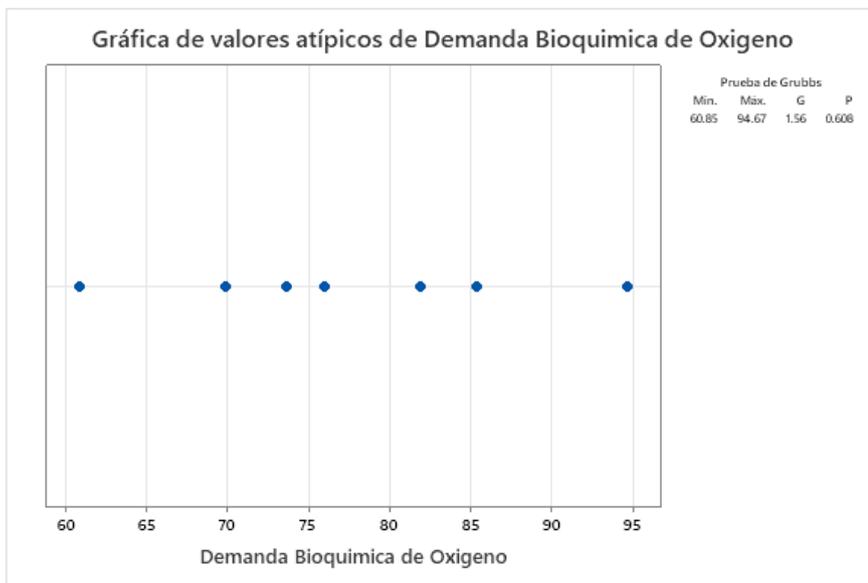
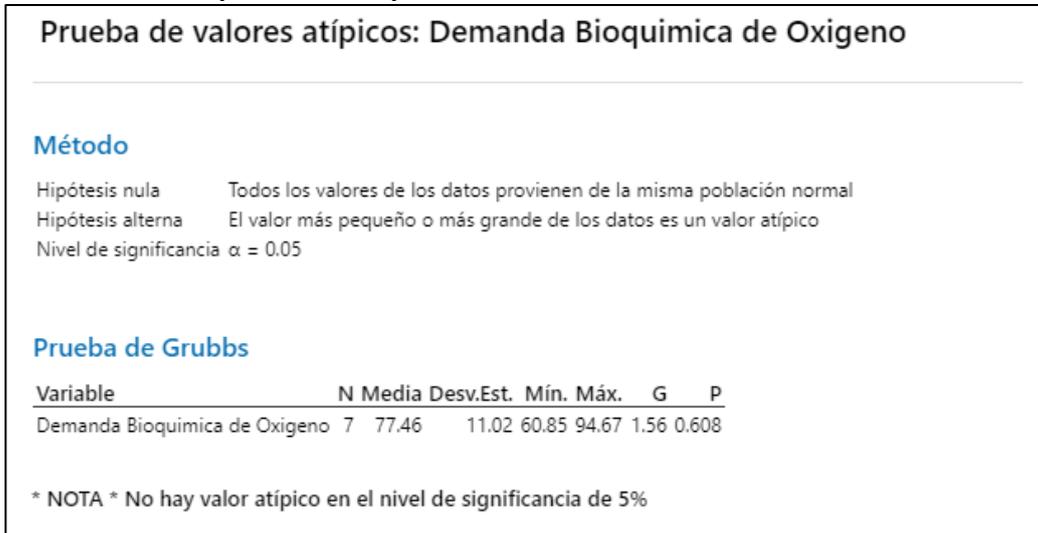
b) Prueba de Atipicidad – Grubbs

La prueba de atipicidad de Grubbs, se aplica a datos que posean distribución normal, como los analizados en la investigación. Para esta prueba se utilizará un nivel de significancia de 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que los datos si cuentan con valores atípicos, es decir el valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico; por otro lado, si el valor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que el valor más pequeño o más grande de los datos no es un valor atípico.

Figura 12

Resultados de la prueba de atipicidad – Grubbs



Conclusión:

P-value =	0.608	> 0.05
Los datos no presentan valores atípicos		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 0.608, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que el valor más pequeño o más grande de la data analizada no contiene valores atípicos, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0).

c) Prueba de Homogeneidad de Varianzas – Método de Bonnet y Método Chi Cuadrada

Se aplicó la prueba de Bonnet, debido a que se cuenta con datos normales, siendo sólida solo al presentarse esta característica; para esta prueba se empleó un nivel de significancia de 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que las varianzas no son iguales, por otro lado, si el valor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que las varianzas son homogéneas.

Por otro lado, la prueba chi cuadrada, se empleó para determinar la asociación de las variables categóricas; además de ello, se denotó como nivel de significancia 0.05.

Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que existe una asociación significativa entre las variables, por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que las variables no están asociadas.

Figura 13

Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas

Prueba e IC para una varianza: Demanda Bioquímica de Oxígeno				
Método				
σ : desviación estándar de Demanda Bioquímica de Oxígeno				
El método de Bonett es válido para cualquier distribución continua.				
El método de chi-cuadrada solo es válido para la distribución normal.				
Estadísticas descriptivas				
			IC de 95% para σ usando Bonett	IC de 95% para σ usando Chi-cuadrada
<u>N</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Varianza</u>		
7	11.0	121	(6.3; 26.8)	(7.1; 24.3)
Prueba				
Hipótesis nula $H_0: \sigma = 10$				
Hipótesis alterna $H_1: \sigma \neq 10$				
			Estadística	
<u>Método</u>			<u>de prueba</u>	<u>GL</u> <u>Valor p</u>
Bonett			— —	0.648
Chi-cuadrada		7.28	6	0.591

Conclusión:

P-value =	0.648	> 0.05
P-value =	0.591	> 0.05
Se demuestra que no hay diferencia significativa de las varianzas		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, en la prueba de Bonett, se obtuvo un valor p de 0.648, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que las varianzas son homogéneas, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0).

Por otro lado, teniendo como valor de significancia a 0.05 en la prueba de Chi Cuadrada, se obtuvo un valor p de 0.591, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que las variables no están asociadas.

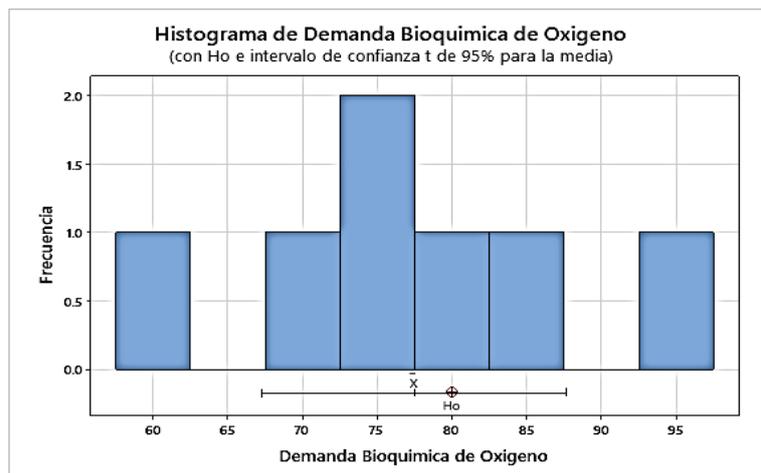
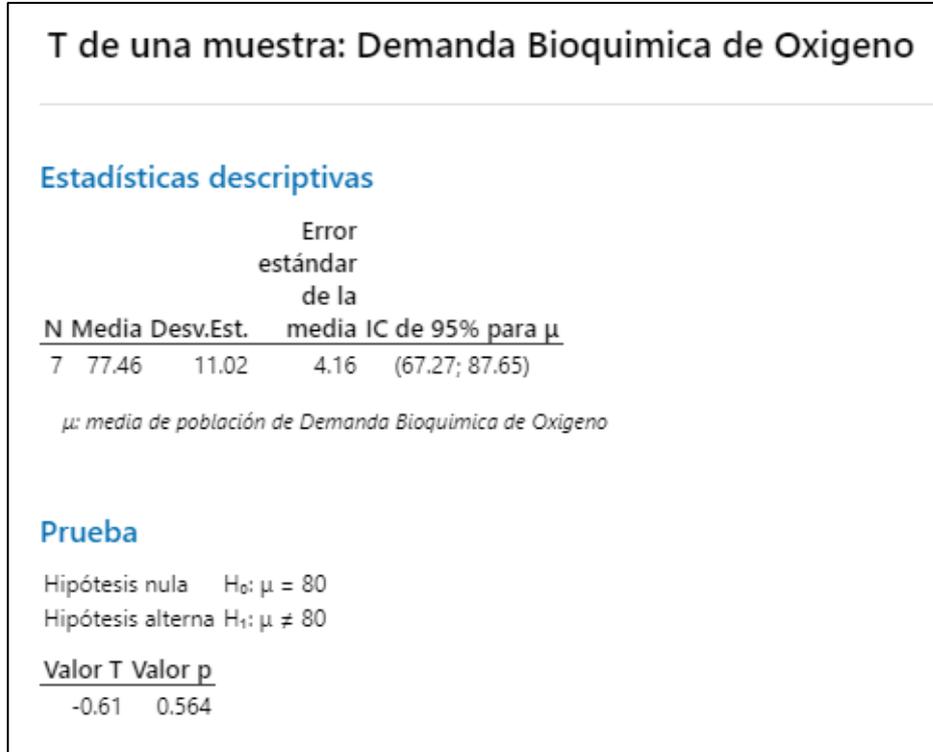
d) Prueba de T de una muestra – Media Hipotética

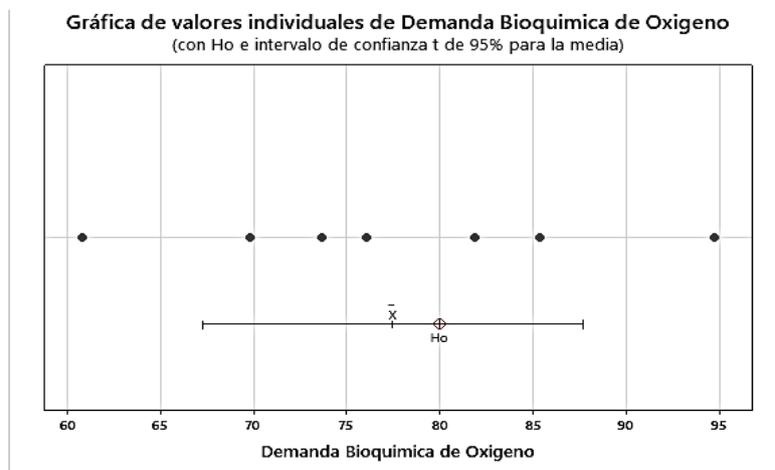
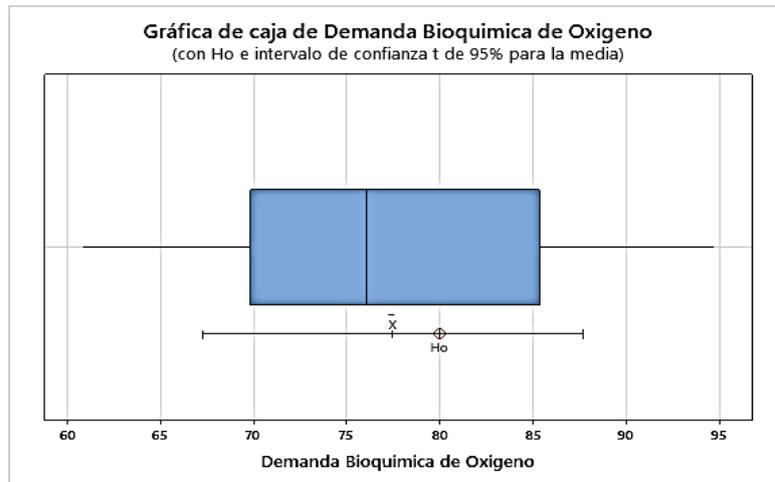
Se empleó la prueba T de una muestra para determinar si la media aritmética de la data analizada, es igual al valor objetivo (teórico) o difiere del mismo; para realizar la prueba se tomó como valor de significancia a 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que el parámetro es más pequeño, más grande o diferente del valor teórico, por otro lado, si el valor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la decisión es que se aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que un parámetro es igual o similar al valor teórico.

Figura 14

Resultados de la prueba de T de una muestra





Conclusión:

P-value =	0.564	> 0.05
La media aritmética de los resultados no difiere significativamente al valor teórico		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 0.564, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que la media aritmética de los resultados no difiere significativamente del valor teórico, es decir se aprueba la hipótesis nula (Ho).

3.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

3.2.2.1 Concentración Inicial

Según el análisis de la literatura científica respecto a la concentración inicial de Demanda Química de Oxígeno en las aguas residuales hospitalarias, se expresa cuantitativamente, en la tabla 15, los resultados obtenidos por cada autor

Tabla 15

Valores de iniciales de la Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales hospitalarias

		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10
Concentración Inicial	DQO	Pariona y Pineda	Estrada et al.	Huanca							
	me/L	1697	998.4	778.5	778.5	778.5	813.4	813.4	813.4	750.2	750.2
		Exp. 11	Exp. 12	Exp. 13	Exp. 14	Exp. 15	Exp. 16	Exp. 17	Exp. 18	Exp. 19	Exp. 20
		Huanca	Huanca	Huanca	Huanca	Huanca	Traveza ño y Valenzuela				
		750.2	711.2	711.2	711.2	711.2	978.5	940	952.6	1570.8	1576
		Exp. 21	Exp. 22	Exp. 23	Exp. 24	Exp. 25	Exp. 26	Exp. 27	Exp. 28	Exp. 29	Exp. 30
		Traveza ño y Valenzuela	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino						
		1582	978.5	940	952.6	1570.8	1576	1582	846.23	846.23	858.11
		Exp. 31	Exp. 32	Exp. 33	Exp. 34	Exp. 35	Exp. 36	Exp. 37	Exp. 38	Exp. 39	Exp. 40
		Muñoz y Palomino	Giraldo	Giraldo	Giraldo	Giraldo					
	858.11	919.88	919.88	965.44	965.44	889.34	6125.3	6125.3	4988.7	4988.7	
	Exp. 41	Exp. 42									
	Giraldo	Giraldo									
	5697	5697									

Nota. Esta tabla muestra las concentraciones iniciales de DQO en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina que la mayor concentración de Demanda Química de Oxígeno corresponde a la experimentación 37 y 38, realizadas por Muñoz y Palomino (2019), en la cual se identifica

6215.30 mg/l del DQO, por otro lado, el análisis del efluente hospitalario que presentó menor concentración de Demanda Química de Oxígeno corresponde a la experimentación 12, 13, 14 Y 15 elaborada por Huanca (2019), registrando 711.20 mg/L del compuesto fisicoquímico

3.2.2.2 Concentración final

Según el análisis de la literatura científica respecto a la concentración final de Demanda Química de Oxígeno en las aguas residuales hospitalarias, se expresa cuantitativamente, en la tabla 16, los resultados obtenidos por cada autor.

Tabla 16

Valores finales de la Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales hospitalarias

	Expo. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10
Concentración Final	<i>Pariona y Pineda</i>	<i>Estrada et al.</i>	<i>Huanca</i>							
	56	168.13	329.5	300.6	538	477.9	414.6	512.7	318.2	269.3
	Exp. 11	Exp. 12	Exp. 13	Exp. 14	Exp. 15	Exp. 16	Exp. 17	Exp. 18	Exp. 19	Exp. 20
	<i>Huanca</i>	<i>Huanca</i>	<i>Huanca</i>	<i>Huanca</i>	<i>Huanca</i>	<i>Traveza ño y Valenzuela</i>				
	491.2	273.3	492.2	245.1	441.5	367.1	303.8	281.6	585.5	557.3
	Exp. 21	Exp. 22	Exp. 23	Exp. 24	Exp. 25	Exp. 26	Exp. 27	Exp. 28	Exp. 29	Exp. 30
	<i>Traveza ño y Valenzuela</i>	<i>Muñoz y Palomino</i>	<i>Muñoz y Palomino</i>	<i>Muñoz y Palomino</i>						
	538	142.4	161.4	155	411.5	465.3	391	146.57	101.8	135.15
	Exp. 31	Exp. 32	Exp. 33	Exp. 34	Exp. 35	Exp. 36	Exp. 37	Exp. 38	Exp. 39	Exp. 40
	<i>Muñoz y Palomino</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>					
108.12	99.53	120.6	115.27	130.62	108.32	3017.25	1694.75	2000.65	1011.55	
Exp. 41	Exp. 42									
<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>									
2101.1	703.75									

Nota. Esta tabla muestra la concentración final de DQO en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina que la mayor concentración de Demanda Química de Oxígeno corresponde a la experimentación 37, realizada por Giraldo (2016), en la cual se identifica 3017.25 mg/l del DQO, por otro lado, el análisis del efluente hospitalario que presentó menor concentración de Demanda Química de Oxígeno, corresponde a la experimentación 1, elaborada por Pariona y Pineda (2019), registrando 56 mg/L del compuesto fisicoquímico.

3.2.2.3 Porcentaje de Remoción

Tabla 17

Valores de remoción de la Demanda Química de Oxígeno de aguas residuales hospitalarias

	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10
	Pariona y Pineda	Estrada et al.	Huanca	Huanc a	Huanca	Huanc a	Huanca	Huanca	Huanca	Huanca
	96.7	83.16	57.68	61.39	30.89	41.25	49.03	36.97	57.59	64.1
	Exp. 11	Exp. 12	Exp. 13	Exp. 14	Exp. 15	Exp. 16	Exp. 17	Exp. 18	Exp. 19	Exp. 20
	Huanca	Huanca	Huanca	Huanc a	Huanca	Travezaño y Valenzuela				
	34.52	61.57	30.79	65.54	37.92	62.48	67.68	70.44	62.73	64.64
	Exp. 21	Exp. 22	Exp. 23	Exp. 24	Exp. 25	Exp. 26	Exp. 27	Exp. 28	Exp. 29	Exp. 30
	Travezaño y Valenzuela	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino						
	65.99	85.45	82.83	83.73	73.8	70.48	75.28	82.68	87.97	84.25
	Exp. 31	Exp. 32	Exp. 33	Exp. 34	Exp. 35	Exp. 36	Exp. 37	Exp. 38	Exp. 39	Exp. 40
	Muñoz y Palomino	Giraldo	Giraldo	Giraldo	Giraldo					
	87.4	89.18	86.89	88.06	86.47	87.82	50.74	72.33	59.9	79.72
	Exp. 41	Exp. 42								
	Giraldo	Giraldo								

63.12 87.65

Nota. Esta tabla muestra los porcentajes de remoción de DQO en cada experimentación (Exp.) realizada por los autores.

Se determina mayor porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno en la experimentación 1, realizada por Pariona y Pineda (2019), logrando una degradación del 96.70 % de compuesto fisicoquímico, por otro lado, el menor porcentaje de remoción obtenido, fue en la experimentación 13, realizada por Huanca (2019), obteniendo una degradación de 30.79% del contaminante.

3.2.2.4 Evaluación Estadística

En la evaluación estadística realizada, se excluyen 10 (diez) datos: 57.68 %, 61.39 %, 30.89 %, 41.25 %, 49.03 %, 36.97 %, 57.59 %, 34.52, 30.79, 37.92, realizado por Huanca (2019) y se excluyen 2 (dos) datos: 50.74% y 59.9% realizado por Giraldo (2016), esto es debido a factores externos que influyen en la eficiencia de la técnica de fotocátalisis heterogénea y que se ven reflejados en porcentajes de remoción inferiores que no aportan a la investigación ni a la evaluación estadística analizada.

Tabla 18

Data de porcentajes de remoción de DQO en muestras de agua

	Datos	Resultados	Datos	Resultados	Datos	Resultados
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1	96.7	21	65.99	41	63.12
	2	83.16	22	85.45	42	87.65
	3	57.68	23	82.83		
	4	61.39	24	83.73		
	5	30.89	25	73.8		
	6	41.25	26	70.48		
	7	49.03	27	75.28		
	8	36.97	28	82.68		
	9	57.59	29	87.97		
	10	64.1	30	84.25		
	11	34.52	31	87.4		
	12	61.57	32	89.18		
	13	30.79	33	86.89		
	14	65.54	34	88.06		
	15	37.92	35	86.47		
	16	62.48	36	87.82		
	17	67.68	37	50.74		
	18	70.44	38	72.33		
	19	62.73	39	59.9		
	20	64.64	40	79.72		

Mediana	81.20		
Promedio	77.34	Valor Mínimo (%)	61.57
Desviación Estándar	10.03	Valor Máximo (%)	96.7

Nota. Esta tabla muestra la data evaluada estadísticamente, con respecto al porcentaje de remoción de DQO; los valores resaltados de amarillo no se tomaron en cuenta.

En el análisis de los porcentajes de remoción obtenidos, se puede determinar que el valor mínimo conseguido es de 61.57%, mientras que el máximo alcanzado es de 96.70%. No obstante, el promedio de los porcentajes de remoción estudiados en la investigación es de

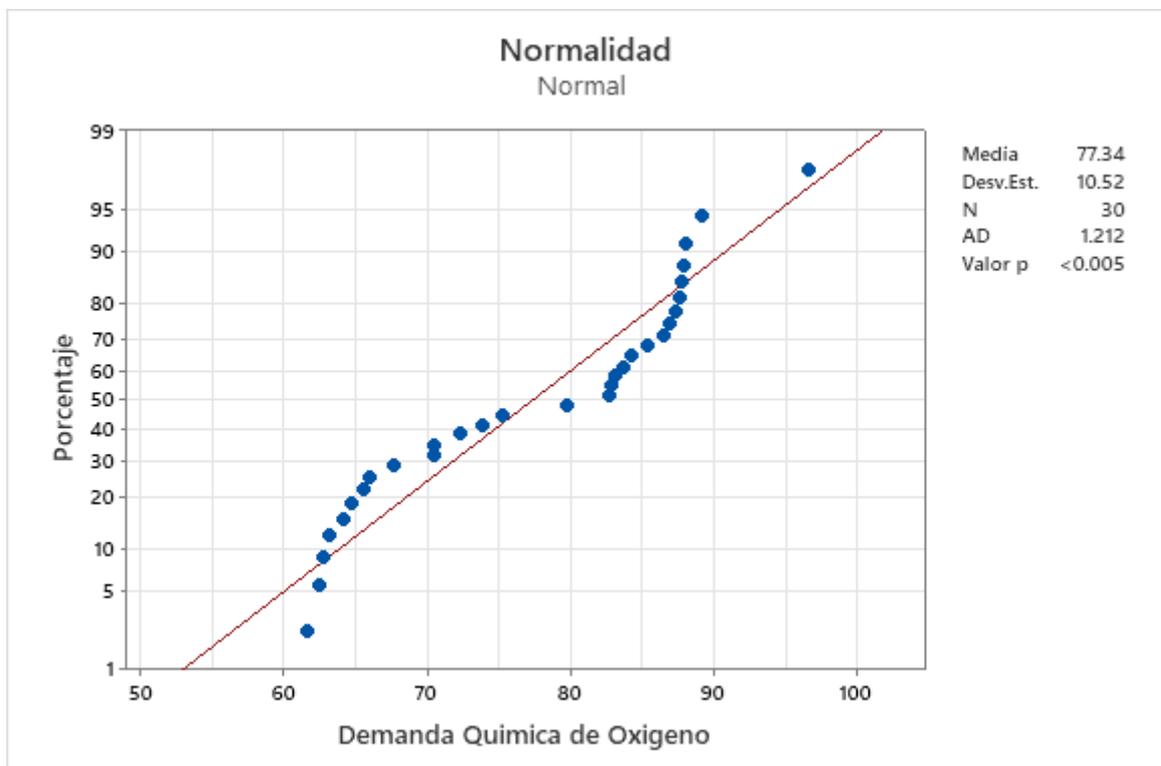
77.34%, con una desviación estándar de 10.03%. Por otro lado, de los datos obtenidos, se determinó que la mediana es de 81.20%.

a) Prueba de Normalidad - Anderson – Darling

Se utilizará el estadístico de distribución de normalidad de Anderson Darling, a un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0.05$. Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que los datos no siguen una distribución normal, es decir son no paramétricos; por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando a los datos como paramétricos o normales.

Figura 15

Resultados de la prueba de normalidad – Anderson – Darling



Conclusión:

P-value =	0	< 0.05
Los datos no tienen un comportamiento Normal		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 0.00, que, al ser menor al nivel de significancia, se puede concluir que los datos no siguen una distribución normal, es decir se aprueba la hipótesis alterna (H1), y se cuenta con datos no paramétricos.

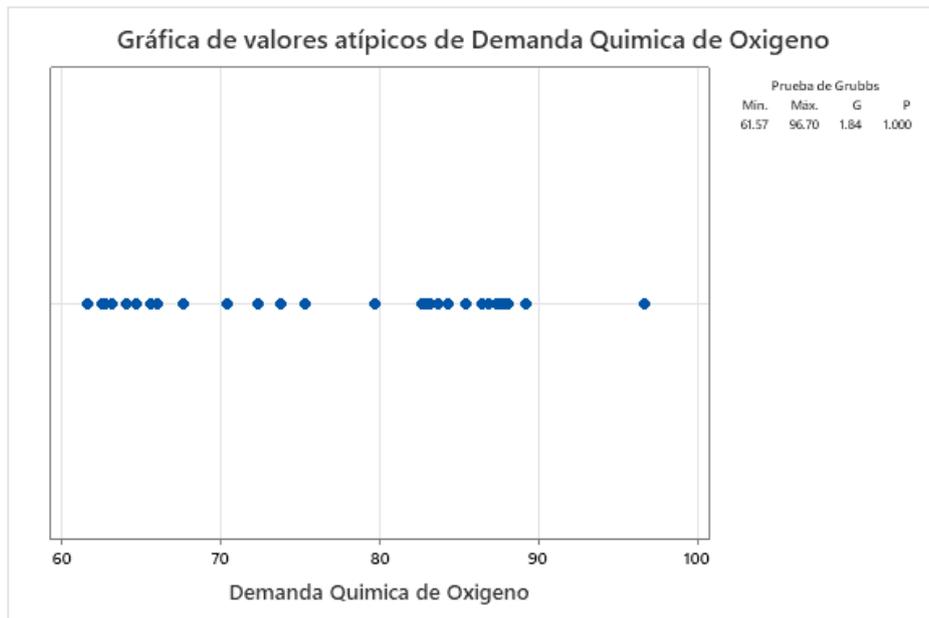
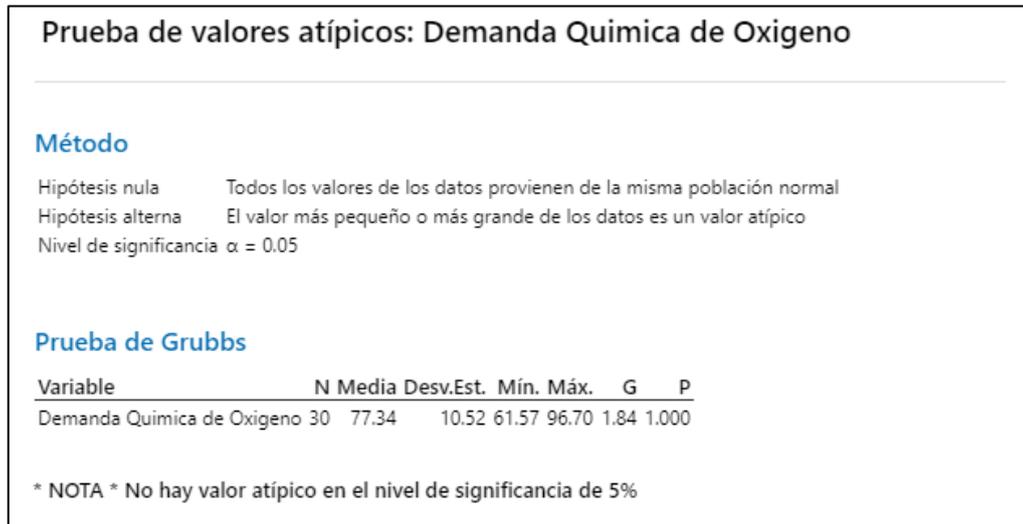
b) Prueba de atipicidad – Dixon

La prueba de atipicidad de Dixon, se aplica a datos que posean distribución anormal, como los analizados en la investigación. Para esta prueba se utilizará un nivel de significancia de 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (Ho) y aceptar la hipótesis alterna (H1), que determina que el valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico; por otro lado, si el valor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (Ho), determinando que todos los datos provienen de la misma población normal; es decir la data no presente valores atípicos.

Figura 16

Resultados de la prueba de valores atípicos – Dixon



Conclusión:

P-value =	1.00	> 0.05
Los datos no presentan valores atípicos		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 1.00, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que el valor más pequeño o más grande de la data analizada no contiene valores atípicos, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0).

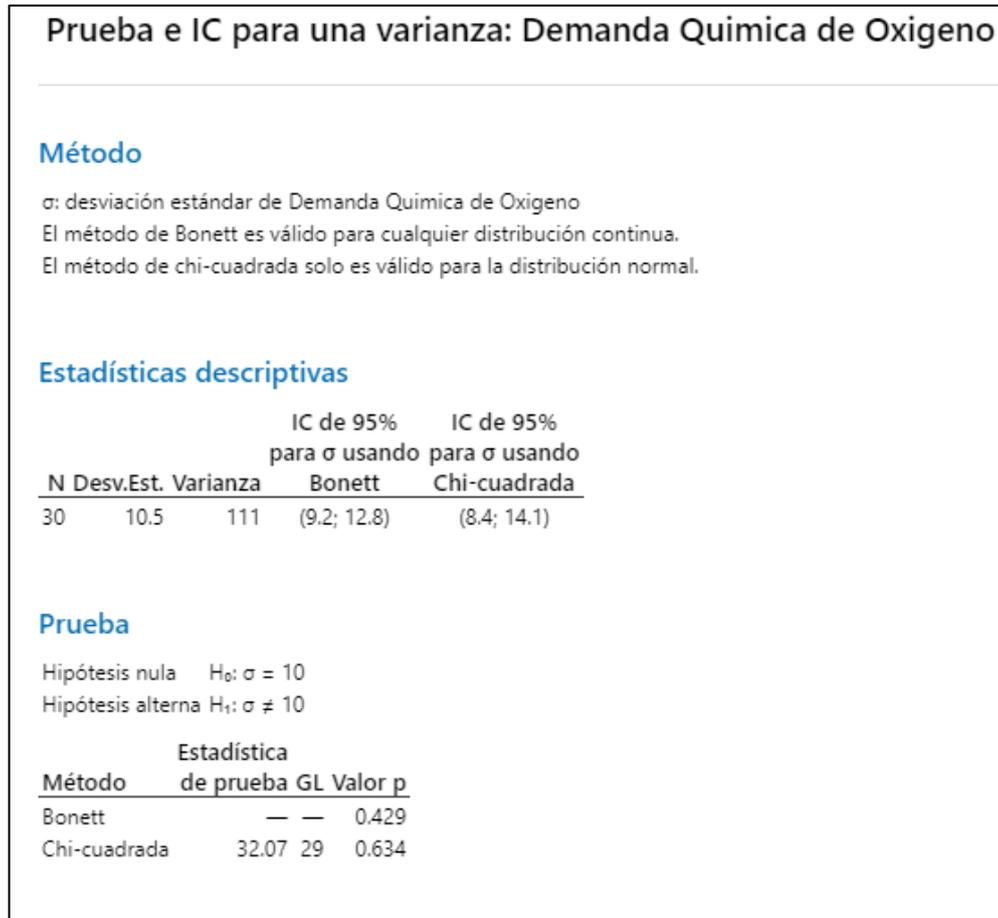
c) Prueba de Homogeneidad de Varianzas – Método de Bonnet y Método Chi Cuadrada

Se aplicó la prueba de Bonnet, debido a que se cuenta con datos normales, siendo sólida solo al presentarse esta característica; para esta prueba se empleó un nivel de significancia de 0.05.

Si el valor p resulta ser menor al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que las varianzas no son iguales, por otro lado, si el valor p resulta mayor o igual que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que las varianzas son homogéneas.

Por otro lado, la prueba chi cuadrada, se empleó para determinar la asociación de las variables categóricas; además de ello, se denotó como nivel de significancia 0.05.

Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que existe una asociación significativa entre las variables, por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que las variables no están asociadas.

Figura 17
Resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas

Conclusión:

P-value =	0.429	> 0.05
P-value =	0.634	> 0.05
Se demuestra que no hay diferencia significativa de las varianzas		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, en la prueba de Bonett, se obtuvo un valor p de 0.429, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que las varianzas son homogéneas, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0).

Por otro lado, teniendo como valor de significancia a 0.05 en la prueba de Chi Cuadrada, se obtuvo un valor p de 0.634, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que las variables no están asociadas.

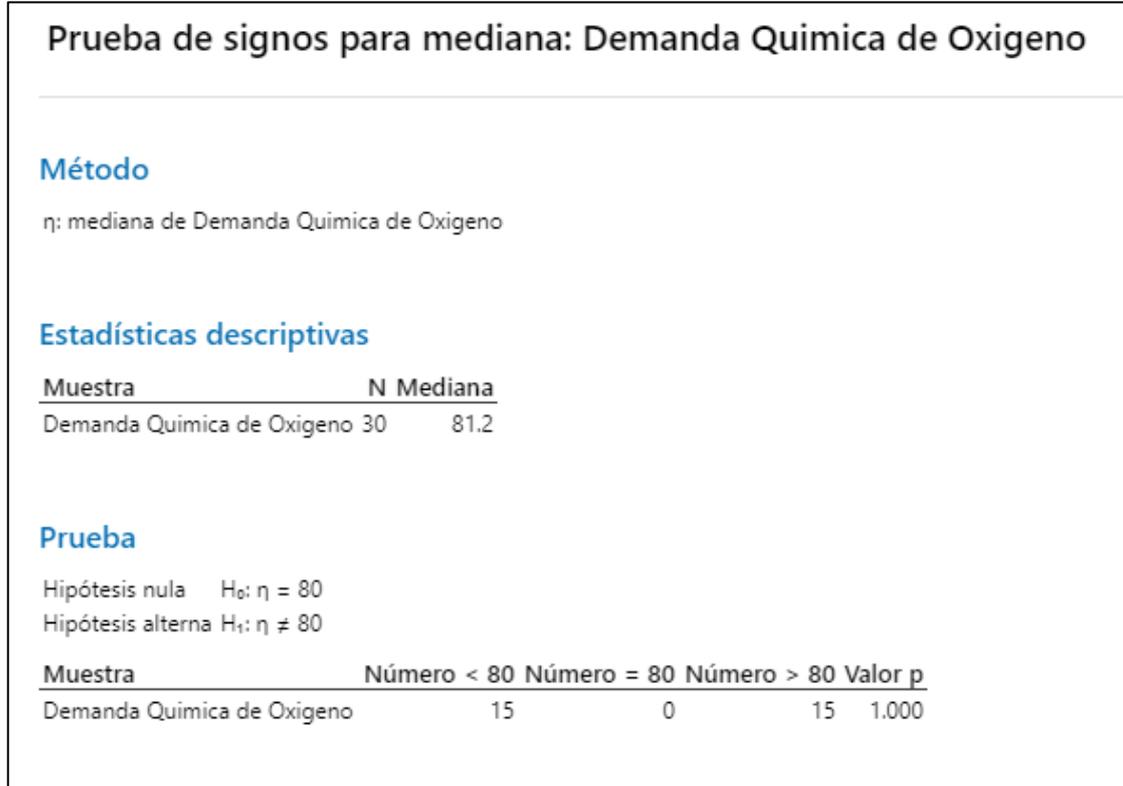
d) Prueba de signos para una muestra – Mediana hipotética

Se empleó la prueba de signos para una muestra para determinar si la mediana de la data analizada, es igual al valor objetivo (teórico) o difiere del mismo; para realizar la prueba se tomó como valor de significancia a 0.05.

Si el valor p resulta ser menor o igual al nivel de significancia 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), que determina que la diferencia entre las medianas es significativamente diferente, por otro lado, si el valor p resulta mayor que el nivel de significancia, la decisión es que se aprueba la hipótesis nula (H_0), determinando que la diferencia entre las medianas no es significativamente diferente.

Figura 18

Resultados de la prueba de signos para mediana



Conclusión:

P-value =	1.00	> 0.05
La diferencia entre las medianas no es significativamente diferente		

Interpretación

Siendo el valor de significancia 0.05, se obtuvo un valor p de 1.00, que, al ser mayor al nivel de significancia, se puede concluir que La diferencia entre las medianas no es significativamente diferente, es decir se aprueba la hipótesis nula (H_0).

3.3 Eficiencia técnica del proceso de fotocatalisis heterogénea para la remoción de fármacos en aguas residuales hospitalarias

Es posible determinar la eficiencia técnica del proceso de fotocatalisis heterogénea, a través del análisis estadístico realizado, no obstante, para establecer dicha eficiencia, es menester realizar una comparativa entre la concentración inicial de los fármacos en estudio (ibuprofeno y diclofenaco) y la concentración final, obtenida luego de realizar el proceso foto catalítico.

Tabla 19

Comparación de concentraciones iniciales y finales de ibuprofeno

Concentraciones iniciales (mg/L)	Exp. 1 <i>Cruz</i> 1	Exp. 2 <i>Cruz</i> 1	Exp. 3 <i>Miranda</i> 0.1	Exp. 4 <i>Nieto</i> 20	Exp. 5 <i>Nieto</i> 20
	Exp. 6 <i>Nieto</i> 20	Exp. 7 <i>Nieto</i> 20	Exp. 8 <i>Nieto</i> 20	Exp. 9 <i>Nieto</i> 20	
%R	Exp. 1 <i>Cruz</i> 94	Exp. 2 <i>Cruz</i> 92	Exp. 3 <i>Miranda</i> 100	Exp. 4 <i>Nieto</i> 88.26	Exp. 5 <i>Nieto</i> 91.4
	Exp. 6 <i>Nieto</i> 89.89	Exp. 7 <i>Nieto</i> 90.05	Exp. 8 <i>Nieto</i> 80.94	Exp. 9 <i>Nieto</i> 83.74	
Concentraciones finales (mg/L)	Exp. 1 <i>Cruz</i> 0.94	Exp. 2 <i>Cruz</i> 0.92	Exp. 3 <i>Miranda</i> 0	Exp. 4 <i>Nieto</i> 2.348	Exp. 5 <i>Nieto</i> 1.72
	Exp. 6 <i>Nieto</i> 2.022	Exp. 7 <i>Nieto</i> 1.99	Exp. 8 <i>Nieto</i> 3.812	Exp. 9 <i>Nieto</i> 3.252	

Nota. En la tabla se muestra una comparativa entre las concentraciones iniciales y las concentraciones finales del ibuprofeno luego de la aplicación de la técnica de fotocatalisis heterogénea.

En la tabla mostrada, se observa el alto porcentaje de remoción que provee la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea sobre la concentración inicial del ibuprofeno en las 9 muestras de agua residual hospitalaria estudiadas, logrando hasta un 100% de mineralización del fármaco en estudio.

Por otro lado, para el diclofenaco, se tomaron en cuenta 8 experimentaciones, que de la misma manera, demuestran la alta eficiencia de la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea, en la degradación de contaminantes emergentes en aguas residuales hospitalarias, en este caso, la mineralización del diclofenaco.

Tabla 20

Comparación de concentraciones iniciales y finales de diclofenaco

Concentraciones iniciales (mg/L)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>De la Fuente</i>
	0.36	0.397	0.548	18
	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	
	<i>Hernando</i>	<i>Hernando</i>	<i>Hernando</i>	
	2.4	0.00206	0.00206	
%R	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>De la Fuente</i>
	97.44	97.18	96.1	97.5
	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	
	<i>Hernando</i>	<i>Hernando</i>	<i>Hernando</i>	
	60	74.51	97.45	
Concentraciones finales (mg/L)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>Cortez</i>	<i>De la Fuente</i>
	0.009	0.011	0.129	0.45
	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	
	<i>Hernando</i>	<i>Hernando</i>	<i>Hernando</i>	
	0.96	0.00052509	0.00005253	

Nota. En la tabla se muestra una comparativa entre las concentraciones iniciales y las concentraciones finales del diclofenaco luego de la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea.

Por otra parte, parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno, se tomaron en cuenta 10 experimentaciones, que, de la misma manera, demuestran la alta eficiencia de la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea, en la degradación de contaminantes emergentes en aguas residuales hospitalarias, en este caso, la mineralización de la Demanda Química de Oxígeno.

Tabla 21

Comparación de concentraciones iniciales y finales de DBO

Concentraciones iniciales (mg/L)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5
	<i>Pariona y Pineda</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>
	980	3925.8	3925.8	3315.3	3315.3
	Exp. 6	Exp. 7			
	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>			
	3812.1	3812.1			
%R	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5
	<i>Pariona y Pineda</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>
	76.02	60.85	81.85	69.83	85.33
	Exp. 6	Exp. 7			
	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>			
	73.66	94.67			
Concentraciones finales (mg/L)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5
	<i>Pariona y Pineda</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>
	235	1537.1	712.65	1000.25	486.25
	Exp. 6	Exp. 7			
	<i>Giraldo</i>	<i>Giraldo</i>			
	1004.2	203.1			

Nota. En la tabla se muestra una comparativa entre las concentraciones iniciales y las concentraciones finales de la Demanda Bioquímica de Oxígeno luego de la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea.

Por último, para el parámetro de Demanda Química de Oxígeno, se tomaron en cuenta 30 experimentaciones, que, de la misma manera, demuestran la alta eficiencia de la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea, en la degradación de contaminantes emergentes en aguas residuales hospitalarias, en este caso, la mineralización de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tabla 22

Comparación de concentraciones iniciales y finales de DQO

	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10
concentraciones iniciales (mg/L)	Pariona y Pineda	Estrada et al.	Huanca	Huanca	Huanca	Travezaño y Valenzuela				
	1697	998.4	750.2	711.2	711.2	978.5	940	952.6	1570.8	1576
	Exp. 11	Exp. 12	Exp. 13	Exp. 14	Exp. 15	Exp. 16	Exp. 17	Exp. 18	Exp. 19	Exp. 20
	Travezaño y Valenzuela	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino						
	1582	978.5	940	952.6	1570.8	1576	1582	846.23	846.23	858.11
	Exp. 21	Exp. 22	Exp. 23	Exp. 24	Exp. 25	Exp. 26	Exp. 27	Exp. 28	Exp. 29	Exp. 30
	Muñoz y Palomino	Giraldo	Giraldo	Giraldo	Giraldo					
	858.11	919.88	919.88	965.44	965.44	889.34	6125.3	4988.7	5697	5697

	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10
	Pariona y Pineda	Estrada et al.	Huanca	Huanca	Huanca	Traveza ño y Valenzuela	Travezaño y Valenzuela			
	96.7	83.16	64.1	61.57	65.54	62.48	67.68	70.44	62.73	64.64
	Exp. 11	Exp. 12	Exp. 13	Exp. 14	Exp. 15	Exp. 16	Exp. 17	Exp. 18	Exp. 19	Exp. 20
%R	Traveza ño y Valenzuela	Travezaño y Valenzuela	Travezaño y Valenzuela	Traveza ño y Valenzuela	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino			
	65.99	85.45	82.83	83.73	73.8	70.48	75.28	82.68	87.97	84.25
	Exp. 21	Exp. 22	Exp. 23	Exp. 24	Exp. 25	Exp. 26	Exp. 27	Exp. 28	Exp. 29	Exp. 30
	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Giraldo	Giraldo	Giraldo	Giraldo
	87.4	89.18	86.89	88.06	86.47	87.82	72.33	79.72	63.12	87.65

	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9	Exp. 10
	Pariona y Pineda	Estrada et al.	Huanca	Huanca	Huanca	Traveza ño y Valenzuela				
	56	168.13	269.3	273.3	245.1	367.1	303.8	281.6	585.5	557.3
	Exp. 11	Exp. 12	Exp. 13	Exp. 14	Exp. 15	Exp. 16	Exp. 17	Exp. 18	Exp. 19	Exp. 20
Concentraciones finales (mg/L)	Traveza ño y Valenzuela	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino	Muñoz y Palomino						
	538	142.4	161.4	155	411.5	465.3	391	146.57	101.8	135.15
	Exp. 21	Exp. 22	Exp. 23	Exp. 24	Exp. 25	Exp. 26	Exp. 27	Exp. 28	Exp. 29	Exp. 30
	Muñoz y Palomino	Giraldo	Giraldo	Giraldo	Giraldo					
	108.12	99.53	120.6	115.27	130.62	108.32	1694.75	1011.55	2101.1	703.75

Nota. En la tabla se muestra una comparativa entre las concentraciones iniciales y las concentraciones finales de la Demanda Química de Oxígeno luego de la aplicación de la técnica de fotocatalisis heterogénea.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los resultados de las diferentes investigaciones acerca de la técnica de la fotocátalisis heterogénea, presentan datos tales como la concentración inicial de los fármacos (ibuprofeno y diclofenaco), el porcentaje de remoción alcanzado y la concentración final, luego de la aplicación de la técnica en la muestra de agua residual hospitalaria, no obstante, los datos obtenidos se describen en la tabla N°19 y en la tabla N° 20. Además de ello, con el fin de evitar variaciones en las pruebas estadísticas realizadas, se emplearon tanto, los datos de entrada de las experimentaciones, como también el porcentaje de remoción y los datos de salida por autor. Cabe resaltar que en el 100% de investigaciones de fotocátalisis heterogénea, se empleó dióxido de titanio como también exposición a radiación UV de manera natural y de manera simulada.

No obstante, se relacionó los valores de remoción obtenidos para el ibuprofeno y diclofenaco, post aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea en aguas residuales hospitalarias, con la disminución de los parámetros fisicoquímicos Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, observando una optimización en el análisis de los mismos, al aplicar la técnica en cuestión.

De esta manera, para demostrar la validez de la data utilizada, con respecto a los valores de concentración inicial, final y porcentaje de remoción, se emplearon pruebas estadísticas, con el fin de evitar y/o identificar problemas de interpretación y distorsión de la data analizada.

Entre los datos obtenidos, se alcanzaron porcentajes de remoción altos, logrando hasta el 100% de mineralización del fármaco ibuprofeno, no obstante también se consideró data con menores porcentajes de remoción, este contraste en la eficiencia de la técnica foto catalítica,

es dependiente de ciertos condicionantes como el nivel de pH de la muestra de agua residual hospitalaria, las horas de radiación a las que son expuestas estas muestras y la cantidad de dióxido de Titanio empleado en el proceso, esto se ve reflejado en los porcentajes de remoción del fármaco o parámetro fisicoquímico analizado.

Una experimentación realizada de manera correcta, puede obtener porcentajes de remoción altos, como los obtenidos por Pino (2018), alcanzando hasta un 90% de remoción de fármacos en las muestras de agua luego de aplicar la fotocátalisis heterogénea, esto a su vez es confirmado en los resultados de la presente investigación, obteniendo un promedio de remoción de ibuprofeno de 90.03% y de diclofenaco de 88.6% entre la data analizada estadísticamente. Por contraparte, la investigación de Chamorro (2018), logró un porcentaje de remoción bajo en los 4 ensayos realizados, alcanzando un 50% de degradación de los fármacos analizados, esto puede deberse principalmente, a que la muestra de agua es muy ácida, y no se realizó una regulación del pH de la misma.

Por otro lado, con respecto a los dos parámetros fisicoquímicos analizados, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, fueron dependientes del origen de la muestra de agua residual hospitalaria, analizada por cada autor, es por ello que se cuentan con datos no normales en el caso de la DQO, sin embargo, esto no causa afectación en el tratamiento, confiabilidad e interpretación de los datos. En ambos parámetros se lograron porcentajes de remoción superiores al 90%, demostrando de esta manera la eficiencia de la aplicación de la técnica de fotocátalisis en aguas residuales hospitalarias para lograr la mineralización parcial o total del ibuprofeno y diclofenaco, y la optimización paramétrica del agua residual, específicamente en los dos parámetros analizados.

A nivel nacional, son escasas las investigaciones realizadas en temática de tratamientos terciarios de aguas residuales, en concreto de fotocátalisis heterogénea, sin embargo, es importante resaltar que al aplicar esta técnica en el agua residual hospitalaria, no solo existe una remoción del contaminante emergente, sino también una optimización de los parámetros fisicoquímicos, producto de la disminución de los mismos, esto es mostrado en la investigación realizada, en Perú, por Pariona y Pineda (2019), quienes alcanzaron una remoción de 60% y 90%, de la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Bioquímica de Oxígeno, respectivamente, al igual que Huanca (2019), quien logró alcanzar un porcentaje de remoción mayor a 62% para la Demanda Química de Oxígeno en la muestra de agua residual analizada, tras aplicar la técnica de fotocátalisis heterogénea, sin embargo en la presente investigación, tras el análisis estadístico de la data, se obtuvo un promedio de remoción del 77.46% y 77.34% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, respectivamente; esta diferencia entre los resultados obtenidos por los autores, y los obtenidos en la investigación después del tratamiento de los datos, es debido a la utilización de cantidades mínimas de Peróxido de Hidrógeno, que al ser combinado con la muestra de agua, altera los parámetros de la misma, y puede influenciar negativamente en la eficiencia de la técnica aplicada.

De esta manera es notoria la mayor eficiencia que tiene la técnica de fotocátalisis heterogénea que los métodos o tratamientos convencionales de desinfección de agua, no solo en la remoción de fármacos y disminución de parámetros fisicoquímicos, sino también en la carga bacteriológica; en la investigación de Terreros (2022), mediante la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea, logró un 92% de degradación de la carga bacteriana de

la muestra de agua residual analizada, estando directamente relacionada con la disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, en el agua tratada.

No obstante, la mayoría de experimentaciones realizadas, y que han obtenido un porcentaje de remoción alto de fármacos o parámetros fisicoquímicos, han sido expuestas por un período de entre 3 a 5 horas de radiación solar, y les ha sido aplicada 1mg/L del catalizador Dióxido de Titanio, por lo que estos parámetro son óptimos para aplicar la fotocátalisis heterogénea, Inga y Lino (2019), concluyen por su parte que el tiempo óptimo de radiación solar debe ser de 5 horas y la concentración óptima del catalizador Dióxido de Titanio debe ser de 1.7043 mg/L, siendo cantidades similares, a las descritas con anterioridad.

Limitantes

Como principales limitantes de la investigación realizada, se identificaron dos de índole metodológica, las cuales fueron, en primer lugar, la falta de estudios previos en Perú sobre la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea en aguas residuales hospitalarias, que si bien se logró encontrar información de origen nacional acerca del tema, la cantidad de estudios encontrados fueron escasos, agregando además la data difusa que presentaban algunos de estos, por lo que se realizó una filtración de la información del tema en el Perú, direccionando la data hacia información internacional; y la segunda limitación fue la utilización de datos basados en percepciones terceras, esto debido a que no se pudo verificar la información de manera independiente, por el diseño investigativo.

4.2 Conclusiones

Se presentó resultados de investigaciones sobre la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea para la degradación de los fármacos ibuprofeno y diclofenaco en aguas residuales hospitalarias, relacionando la eficiencia de la técnica con la mineralización total o parcial de los fármacos, y la optimización de los parámetros fisicoquímicos Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, del agua analizada en cada experimentación, medido a través del porcentaje de remoción de los mismos.

Con respecto a la remoción del ibuprofeno, las investigaciones de Miranda, Cruz, en sus dos experimentaciones, y Nieto, fueron las que obtuvieron el mayor porcentaje de remoción con un 100%, 94%, 92% y 91.4% respectivamente, mientras que las investigaciones de la Fuente, Hernando y Bravo, en sus dos experimentaciones, fueron las que obtuvieron mayor porcentaje de remoción para el diclofenaco, logrando un 97.5%, 97.45%, 97.44% y 97.18% respectivamente.

Por otro lado, con respecto a la optimización de los parámetros fisicoquímicos Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, para el primero, las investigaciones que obtuvieron el mayor porcentaje de remoción fueron de Pariona y Pineda, Muñoz y Palomino, en sus tres experimentaciones, logrando porcentajes de remoción de 96.70%, 89.18%, 88.06% y 87.97% respectivamente. Referente, a la Demanda Química de Oxígeno, las investigaciones que obtuvieron mayor porcentaje de remoción fueron las realizadas por Giraldo, en sus tres experimentaciones, logrando porcentajes de remoción de 94.67%, 85.33% y 81.85% en el orden mencionado

Es por ello, que la aplicación de la técnica de fotocátalisis heterogénea en las aguas residuales hospitalarias es eficiente, al lograr altos porcentajes de remoción tanto en los fármacos

analizados, ibuprofeno y diclofenaco, como tambien en los porcentajes de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, permitiendo optimizar estos dos parámetros fisicoquímicos, logrando un tratamiento efectivo y confiable para la descontaminación del agua residual hospitalaria.

REFERENCIAS

Aquino Tacza, A. (2017). *Tratamiento de aguas residuales de la industria textil artesanal por fotocatalisis homogénea y heterogénea*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4606>

Beltrán, A., Escudero, M., Córdova, S. y Rosero, C. (2019). Monitoreo microbiológico para la gestión ambiental de aguas residuales hospitalarias. *Ciencia Digital*, 3(3.4.), 342-353. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4.882>.

Belzona Inc. (2010). Tratamiento de Aguas Residuales. https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf

Carbajo Olleros, J. (2013). *Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores nanoestructurados de TiO₂*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Madrid]. <http://hdl.handle.net/10486/14229>

Carbajo, J., Jiménez, M., Millares, S., Malato, S., Faraldos, M. y Bahamonde, A. (2016). Study of application of titania catalysts on solar photocatalysis: Influence of type of pollutants and water matrices. *Revista Chemical Engineering Journal*, 291(1), 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.01.092>

Carranza Salazar, J. S. (2021). *Degradación por fotocatalisis de colorantes en medio acuoso utilizando mezclas de dióxido de titanio (TiO₂) y óxido de zinc (ZnO)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/63482>

Chamorro Caicedo, M. M. (2018). *Tratamiento de aguas residuales hospitalarias con fotocatalisis heterogénea con TiO₂ en un colector cilíndrico parabólico en los hospitales Municipal, Docente Regional Ambato, Regional del IESS, ubicados en la provincia de Tungurahua, Cantón Ambato*. [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14886/T-ESPE040397.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cortez González, V. H. (2018). *Eliminación de contaminantes emergentes de aguas residuales hospitalarias mediante procesos de oxidación avanzada*. [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/465>

Cruz Carrillo, M. D. (2019). *Evaluación y tratamiento de contaminantes emergentes (fármacos ácidos) en aguas residuales mediante un reactor SBRLF acoplado a fotocátalisis*. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/778>

Daouk, S., Chèvre, N., Vernaz, N., Widmer, C., Daali, Y. y Fleury, S. (2016). Dynamics of active pharmaceutical ingredients loads in a Swiss university hospital wastewaters and prediction of the related environmental risk for the aquatic ecosystems. *Revista Science of The Total Environment*, 547, 244–253. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.117>

De la Cruz González, N. (2013). *Estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante procesos de oxidación avanzada*. [Tesis de doctor, Universitat de Barcelona]. <http://hdl.handle.net/2445/66864>

De la Fuente García, P. N. (2018). *Eliminación fotocatalítica de fármacos en aguas*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/123098/TFM%20PaulaDeLaFuente.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Encarnación Ambriz, C. E. (2014). *Tratamiento de efluentes hospitalarios mediante fotocátalisis heterogénea y luz visible*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Aguas calientes]. <http://hdl.handle.net/11317/256>

Estrada Martínez, A., Ortega Ruiz, J., Urango Cardenas, I., Enamorado Montes, G. y Marrugo Negrete, J. (2019). Fotocatálisis heterogénea para el tratamiento de aguas residuales generadas en el baño del ganado. *Revista de investigación agraria y ambiental. Área ambiental*, 10(2), 115-125. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6995814>

Garay, U. y Quiliche, S. (2021). *Efecto de la descarga de las aguas residuales domésticas de la ciudad de los baños del inca sobre el agua del río chonta, 2021*. [Tesis de grado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello]. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/2185>

Garcés Giraldo, L. F., Mejía Franco, E. A., & Santamaría Arango, J. J. (2004). La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 83-92. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511013>

Genesis Water Technologies (2019). *Soluciones sostenibles para el tratamiento de Agua*. <https://genesiswatertech.com/wp-content/uploads/2019/11/GWT-CompanyPresentation-2019-Espanol.pdf>

Gil Suarez, J. A. (2018). *Propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales en la E.S.E Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios*. [Tesis de grado, Fundación Universidad de América]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/2050>

Gil, M., Soto, A., Usma, J. y Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Revista Producción + limpia*. 7(2), 52-73. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>

Giraldo Valentín, D. R. (2016). *Eficiencia del proceso de Fotocátalisis heterogénea con TiO₂ y H₂O₂ en la reducción de DBO₅ y DQO de los lixiviados del botadero La Mejorada El Tambo Huancayo*. [Tesis de grado, Universidad Alas Peruanas]. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/5568>

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P. (2014). Selección de la muestra. En *Metodología de la Investigación* (6^a ed., pp. 170-191). México: McGraw-Hill. <http://metabase.uaem.mx/handle/123456789/2776>

Hernando Ortega, N. (2017). *Estudio de la eliminación de Diclofenaco en aguas residuales mediante fotocátalisis heterogénea con TiO₂*. [Tesis de grado, Universidad de Valladolid]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/26959>

Hernando Ortega, N. (2017). *Estudio de la eliminación de Diclofenaco en aguas residuales mediante fotocátalisis heterogénea con TiO₂*. [Tesis de grado, Universidad de Valladolid]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/26959>

Huanca Villanes, Y. D. (2019). *Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú por fotocátalisis heterogénea*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5197>

Infac. (2016). *Farmacontaminación, impacto ambiental de los medicamentos. Información Farmacoterapéutica de la Comarca. Revista, 24(10), 59-64.* https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/cevime_infac_2016/es_def/adjuntos/INFAC_Vol_24_n_10_farmacontaminacion.pdf

Inga, L. y Lino, A. (2019). *Influencia de la concentración de H₂O₂ y el tiempo de tratamiento en la reducción de DQO de las aguas servidas por Fotocátalisis Heterogénea*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5741>

Ingaruca Álvarez, E. F. (2008). *Optimización del tratamiento secundario de las aguas residuales en la planta de tratamiento del hospital regional IV - EsSalud*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/219>

Meléndez Marmolejo, J., García Saavedra, Y., Galván Romero, V., Díaz de León Martínez, L., Vargas Berrones, K., Mejía Saavedra, J. y Flores Ramírez, R. (2020). *Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina. Revista salud ambiental, 20(1), 53-61.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7535526>

Ministerio de Economía Finanzas (2020). *Limpieza y desinfección de los componentes del sistema de agua potable. Desinfección del agua medición de cloro residual.*

https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_public/municipalidades_pmm_pi/meta5_6_Limpieza_y_desinfeccion_de_los_sistemas.pdf

Mir, J., Parladé, E., Llorca, M., Villagrasa, M., Barceló, D., Rodríguez, S., ... Sarrà, M. (2017). Pharmaceuticals removal and microbial community assessment in a continuous fungal treatment of non-sterile real hospital wastewater after a coagulation-flocculation pretreatment. *Revista Water Research*, 116(1), 65–75.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.005>

Miranda García, N. (2015). *Degradación de contaminantes emergentes mediante TiO₂ inmovilizado e irradiación solar*. [Tesis de doctor, Universidad de Almería].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=111620>

Muñoz, Y. y Palomino, S. (2019). *Influencia de la concentración de TiO₂ y tiempo de tratamiento en la degradación de las aguas residuales de camal por fotocátalisis heterogénea*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/5054>

Nieto Pocomucha, W. M. (2020). *Degradación del ibuprofeno presente en aguas residuales por fotocátalisis heterogénea*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6880>

OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*.
https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Oliveira, T., Murphy, M., Mendola, N., Wong, V., Carlson, D. y Waring, L. (2015). Characterization of Pharmaceuticals and Personal Care products in hospital effluent and waste water influent/effluent by direct-injection LC-MS-MS. *Revista Science of the Total Environment*, 518-519, 459-478.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.104>

Olvera, C., Morales, E., Gómez L., Galár, M., García, S., y Neri, N. (2016). Biomarkers of Cytotoxic, Genotoxic and Apoptotic Effects in *Cyprinus carpio* Exposed to

Complex Mixture of Contaminants from Hospital Effluents. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 96(3), 326–332. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1721-3>

Pariona, D. y Pineda, R. (2019). *Eficiencia de oxidación fotocatalítica heterogénea mediante nanopartículas de Dióxido de Titanio Y Peróxido de hidrogeno en aguas residuales de un servicio de alimentación hospitalaria*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3035>

Pelayo Torices, D. (2018). Procesos de oxidación avanzada: avances recientes y tendencias futuras. [Tesis de grado, Universidad de Cantabria]. <http://hdl.handle.net/10902/14217>

Pino Sandoval, D, A. (2018). *Determinación de fármacos en agua residual hospitalaria y aplicación del proceso de fotocatalisis heterogénea solar para su degradación*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/17074/1/1080252220.pdf>

Quesada Peñate, I., Jáuregui Haza, U. J., Wilhelm, A., y Delmas, H. (2009). Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos. Estrategias para enfrentar la problemática. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 40(3), 173-179. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181221662005>

Rodríguez, M. y Barrera, C. (2020). *Procesos de oxidación avanzada en el tratamiento de agua*. Universidad Autónoma del Estado de México. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Santos, L, Gros, M., Rodriguez, S., Delerue, C., Pena, A., Barceló, D. y Montenegro, M. (2013). Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: Identification of ecologically relevant pharmaceuticals. Revista Science of The Total Environment, 461-462, 302–316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.077>

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (8 de junio 2022). *El tratamiento de aguas residuales en el Perú aumentó en 11 %, entre el 2016 y el 2020*.

<https://www.sunass.gob.pe/lima/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-peru-aumento-en-11-entre-el-2016-y-el-2020/>

Tekniker. (2012). Adecuación de vertido hospitalario a red de saneamiento mediante tratamientos terciarios específicos.

https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/2012_tekniker_terciarios/eu_def/adjuntos/TEKNIKER%20-%20Memoria%20t%C3%A9cnica%20final%20web%20de%20URA%202012.pdf

Terán Solíz, M. C. (2016). Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Catalunya].

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01_TFG.pdf

Terreros Castro, J. M. (2022). *Análisis de la influencia de la fotocátalisis heterogénea en la concentración de coliformes totales en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Jauja*. [Tesis de grado, Universidad Continental].

<https://hdl.handle.net/20.500.12394/11536>

Travezaño, A. y Valenzuela, E. (2019). *Influencia del tiempo y la concentración del contaminante en la degradación de aguas con derrames de aceite por fotocátalisis heterogénea a las condiciones del Valle del Mantaro*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5055>

Verlicchi, P., Al Aukidy, M., y Zambello, E. (2015). What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? — An overview and a discussion on perspectives. *Revista Science of The Total Environment*, 514, 467–491. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.020>

ANEXOS

Anexo N° 1. Matriz Operacional de la Variable Independiente.

Tabla 23
Matriz Operacional de la Variable Independiente

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	INTRUMENTOS
Variable Independiente (V.I)	Técnica de Fotocatálisis Heterogénea	Faraldos (2016), explica que es un proceso de oxidación avanzada que sienta sus bases en la producción y migración de pares de electrones-hueco, al momento de irradiar un semiconductor.	En 2016, Carbajo et al. expone al respecto: “está basado en la excitación de un sólido (fotocatalizador), normalmente un semiconductor de banda ancha como el TiO ₂ , mediante la irradiación con luz de una energía igual o superior a su band-gap” de esta manera produce la movilización del electrón de la banda de valencia hacia la banda conductiva, modelando pares electrón-hueco. Entre las aplicaciones de la fotocátalisis podemos encontrar: descontaminación de aguas, purificación de aire y otras propiedades auto limpiantes.	Agua Residual Hospitalarias	Catalizador Dióxido de Titanio (TiO ₂)	- PPM - %REMOCIÓN	-Research Gate. -Dialnet. -Google Scholar. -Repositorios institucionales universidades nacionales como internacionales.

Anexo N° 2. Matriz Operacional de la Variable Dependiente.

Tabla 24
Matriz Operacional de la Variable Dependiente

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	INTRUMENTOS
Variable dependiente (V.D)	Eficiencia de remoción de fármacos	Es la degradación parcial o mineralización completa de estos compuestos emergentes. Rodríguez y Barrera (2020)	Una de las maneras de calcular la eficiencia de remoción de fármacos, es realizando un contraste de sus concentraciones antes y después de ser aplicado el tratamiento terciario.	Concentración	Disminución de concentración de fármacos en el agua residual estudiada		-Research Gate. -Dialnet. -Google Scholar. -Repositorios institucionales universidades nacionales como internacionales.
				Parámetros fisicoquímicos	Demanda Química de Oxígeno (DQO) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)		

Anexo N° 3. Revisión Sistemática

Tabla 25

Revisión Sistemática

Nombre	Título	Año	Link	País	Requisito	Web
Pino, D.	Determinación de fármacos en agua residual hospitalaria y aplicación del proceso de fotocatalisis heterogénea solar para su degradación	2018	http://eprints.uanl.mx/17074/1/1080252220.pdf	México	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio Universidad Autónoma de Nuevo León
Chamorro, M.	Tratamiento de aguas residuales hospitalarias con fotocatalisis heterogénea con TiO2 en un colector cilíndrico parabólico en los hospitales Municipal, Docente Regional Ambato, Regional del IESS, ubicados en la provincia de Tungurahua, Cantón Ambato	2018	http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14886/T-ESPE-040397.pdf?sequence=1&isAllowed=y	Ecuador	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio de la Pontificia Universidad Católica de Ecuador

Cortez, V.	Eliminación de contaminantes emergentes de aguas residuales hospitalarias mediante procesos de oxidación avanzada	2018	https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/465/T.A.MB.B.UEA.3148.pdf?sequence=1&isAllowed=y	Ecuador	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio de la Pontificia Universidad Católica de Ecuador
Miranda, N.	Degradación de contaminantes emergentes mediante TiO ₂ inmovilizado e irradiación solar.	2015	https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=2BdMsMlucf0%3D	España	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Dialnet
Hernando, N.	Estudio de la eliminación de Diclofenaco en aguas residuales mediante fotocátalisis heterogénea con TiO ₂	2017	http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/26959/TFG-I-776.pdf?sequence=1&isAllowed=y	España	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio de Universidad de Valladolid

Cruz, M.	Evaluación y tratamiento de contaminantes emergentes (fármacos ácidos) mediante un reactor SBRLF acoplado a fotocatalisis	2019	http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/778/CUCJRS07T.pdf?sequence=1&isAllowed=y	México	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Pariona, D. y Pineda, R.	Eficiencia de oxidación fotocatalítica heterogénea mediante nanopartículas de Dióxido de Titanio Y Peróxido de hidrogeno en aguas residuales de un servicio de alimentación hospitalaria	2019	https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3035	Perú	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio de la Universidad Peruana Unión
Estrada et al.	Fotocatalisis heterogénea para el tratamiento de aguas residuales generadas en el baño del ganado	2019	https://doi.org/10.22490/21456453.2683	Colombia	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Research Gate

Mir et al.	Pharmaceuticals removal and microbial community assessment in continuous fungal treatment of non-sterile real hospital wastewater after a coagulation flocculation pretreatment.	2017	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135417301720	España	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Research Gate
Daouk et al.	Dynamics of active pharmaceutical ingredient loads in a Swiss university hospital wastewaters and prediction of the related environmental risk for the aquatic ecosystems.	2016	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26789362/	Suiza	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Research Gate
Olvera et al.	Biomarkers of cytotoxic, genotoxic and apoptotic effects in Cyprinus carpio exposed to complex mixture of contaminants from Hospital effluents.	2016	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26754545/	México	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Research Gate

Terroros, J.	Análisis de la influencia de la fotocatalisis heterogénea en la coccntración de coliformes totales en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Jauja	2022	https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11536	Perú	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio Institucional Continental
Huanca, J.	Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú por fotocatalisis heterogénea	2019	https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5197	Perú	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio Institucional Universidad Nacional Centro del Perú
Nieto, W.	Degradación del ibuprofeno presente en aguas residuales por fotocatalisis heterogénea	2020	https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_43cf566460b47303460091df24f9370e/Core	Perú	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio Institucional Universidad Nacional Centro del Perú

Travezaño, A. / Valenzuela, E.	Influencia del tiempo y la concentración del contaminante en la degradación de aguas con derrames de aceite por fotocatalisis heterogénea a las condiciones del Valle del Mantaro	2019	https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5055	Perú	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio Institucional Universidad Nacional Centro del Perú
Inga, L. / Lino, A.	Influencia de la concentración de H ₂ O ₂ y el tiempo de tratamiento de reducción de DQO de las aguas servidas por fotocatalisis Heterogénea.	2019	https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5741	Perú	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio Institucional Universidad Nacional Centro del Perú
Muñoz, Y. / Palomino, S.	Influencia de la concentración de TiO ₂ y tiempo de tratamiento en la degradación de las aguas residuales de camal por fotocatalisis heterogénea	2019	https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5054	Perú	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Reposito rio Institucional Universidad Nacional Centro del Perú

Giraldo, D.	Eficiencia del proceso de fotocátalisis heterogénea con TIO ₂ y H ₂ O ₂ en la reducción de DBO ₅ y DQO de los lixiviados del botadero la Mejorada El Tambo Huancayo	2016	https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/5568	Perú	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio de la Universidad Alas Peruanas
De la Fuente, P.	Eliminación fotocatalítica de fármacos en aguas	2018	https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/123098/TFM%20PaulaDeLaFuente.pdf?sequence=1&isAllowed=y	Barcelona	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	UPC Commons
Sánchez, B.	Eliminación de coliformes totales mediante fotocátalisis heterogénea solar.	2019	https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=2Ob42m&d=false&q=:*.*&i=1&v=1&t=search_0&as=2	México	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio de la Universidad Autónoma de México

Encarnación, C.	Tratamiento de efluentes hospitalarios mediante fotocátalisis heterogénea y luz visible.	2014	http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/256/396603.pdf?sequence=1&isAlloved=y	México	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio de la Universidad Autónoma de Aguas Calientes
De la Cruz, N.	Estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante procesos de oxidación avanzada	2013	https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/308120/NDLCG_TESIS.pdf?sequence=1&isAlloved=y	España	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Repositorio de la Universitat de Barcelona

Tekniker	Adecuación de vertido hospitalario a red de saneamiento mediante tratamientos terciarios específicos	2012	https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/2012_tekniker_terciarios/eu_def/adjudtos/TEKNIKER%20-%20Memoria%20t%c3%a9cnica%20final%20web%20de%20URA%202012.pdf	España	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Google Scholar
Carbajo, J.	Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores nanoestructurados de TiO ₂	2013	https://digital.csic.es/bitstream/10261/100081/1/Carbajo%20Olleros,%20J.%20Tesis%202013.pdf	España, Madrid	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Dialnet

Oliveira et al.	Characterization of pharmaceuticals and personal care products in hospital effluent and waste water influent/effluent by direct-injection LC-MS-MS	2015	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969715002648	USA	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Research Gate
Santos et al.	Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: Identification of ecologically relevant pharmaceuticals.	2013	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713005111	Portugal	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Research Gate
Verlicchi et al.	What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent?	2015	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969715001564	Italia	Cumple con el requisito de año, idioma, contenido y responde a la pregunta de investigación	Research Gate

Muñoz, C. y Chaparro, T.	Combinación de procesos de oxidación avanzada y procesos anaerobios para tratamiento de aguas residuales hospitalarias.	2013	https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/276505/364437/	Colombia	No responde la pregunta de investigación y/o variables	Revistes Catalanes amb Accés Obert
Aguilar, S.	Caracterización de aguas residuales hospitalarias	2018	https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/19207	Colombia	No responde la pregunta de investigación y/o variables	Repositorio de la Universidad Libre
Vallejo, R.	Evaluación de la eficiencia de la oxidación avanzada para la descontaminación de efluentes con ibuprofeno y paracetamol a escala de laboratorio.	2018	https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14901/1/UPS%20-%20ST003291.pdf	Ecuador, Quito	No responde la pregunta de investigación y/o variables	Repositorio Institucional de la Universidad Técnica Salesiana
Quintero, A., Vargas, C.,	Evaluación de un sistema de fotocátalisis heterogénea y pasteurización para desinfección de aguas lluvias	2017	https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6336713.pdf	España	No responde la pregunta de investigación y/o variables	Dialnet

<p>Tolentino, A., Benites, E., Cabrera, C.</p>	<p>Aguas residuales de lavandería y su tratamiento por Oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO₂) y luz ultra violeta (UV) en Instituto Nacional de Salud del Niño, San Borja- 2017</p>	<p>2017</p>	<p>https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/16680/14246/</p>	<p>Perú</p>	<p>No responde la pregunta de investigación y/o variables</p>	<p>Revista de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos</p>
<p>Alarcón, C.</p>	<p>Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la fase de teñido de la curtiembre mediante un sistema fisicoquímico basado en la oxidación avanzada con la ayuda del semiconductor TiO₂ en presencia de luz UV</p>	<p>2014</p>	<p>http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3241/1/000110146.pdf</p>	<p>Ecuador</p>	<p>No responde la pregunta de investigación y/o variables</p>	<p>Repositorio Universidad San Francisco de Quito</p>